

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO Y MODELACIÓN DE UN REACTOR  
BIO-SANITARIO (RBS), PARA DEPURACIÓN SUSTENTABLE  
DE AGUAS SERVIDAS EN INSTALACIONES ESCOLARES**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

Presentado ante la

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

Como parte de los requisitos para optar al título de

**INGENIERO CIVIL**

REALIZADO POR

GARCÍA GARAY, JUAN G.  
SOTELDO LEZAMA, ELSY A.

PROFESOR GUÍA

GORROCHOTEGUI, ALFREDO

FECHA

JUNIO DE 2015









**DEDICATORIA**

**DEDICATORIA**

A mi madre, por su apoyo incondicional en las buenas y en las malas, por tener la paciencia que corresponde, por su esfuerzo en ayudarme cada día a seguir adelante.

A mi tía Nelly, por brindarme su apoyo incondicional en todo lo que siempre he necesitado y demostrarme que siempre está presente para lo que necesite.

A mi compañera de tesis y amiga incondicional en las buenas y en las malas, por brindarme todo el apoyo que se necesita para seguir adelante.

**Juan García.**

A mis padres y hermano, por dar lo mejor de sí cada día y estar siempre presente en todo momento; por todo el esfuerzo que han hecho día tras día para lograr hacerme la persona que hoy en día soy y por todo el apoyo que me han dado a lo largo de mi carrera.

A mi compañero de tesis y amigo, por compartir conmigo este gran reto, por darme su apoyo, ayudarme y estar siempre presente.

**Elsy Soteldo.**



AGRADECIMIENTOS**AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por estar siempre a nuestro lado, por darnos fortaleza y salud e iluminar nuestro camino para trabajar en nuestra tesis de grado y lograr su culminación con éxito.

A nuestras madres, padres y hermano, por darnos su apoyo incondicional y estar siempre a nuestro lado en los momentos más difíciles de nuestra vida personal y académica, por su fe en nosotros y por sus esfuerzos para hacer de nosotros lo que somos hoy en día.

Al Ing. Alfredo Gorrochotegui, nuestro tutor, profesor, jefe y amigo. Le agradecemos inmensamente por permitirnos llevar a cabo este trabajo de grado bajo su guía, por darnos la oportunidad de trabajar con usted en nuestros últimos semestres de la carrera y sobre todo por ofrecernos su amistad y consejos.

A Douglas Sánchez, nuestro amigo, un agradecimiento especial por ofrecernos todo su apoyo, por estar presente en todo el proceso de nuestro trabajo de grado; por tenernos paciencia y ayudarnos en las diferentes dificultades y percances que tuvimos a lo largo del desarrollo de este trabajo; por siempre tenernos la solución a los problemas que se nos presentaron. Inmensamente agradecidos.

A Wendy Caldera, nuestra amiga, por darnos todo el apoyo, ayuda y consejos en todo este proceso; por estar presente y pendiente de nosotros en cada momento, por tenernos paciencia y aguantarnos en nuestros momentos de crisis.

Queremos dar un agradecimiento muy especial a todo el personal del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria, profesor Alfredo Gorrochotegui, Douglas Sánchez y Wendy Caldera, por formar parte muy especial de nuestras vidas en estos últimos años de nuestra carrera; han llegado a ser prácticamente nuestra segunda familia durante todo el tiempo que afortunadamente hemos estado en el laboratorio.



### **AGRADECIMIENTOS**

Al señor Jaramillo, técnico del laboratorio de hidráulica, por ofrecernos su apoyo y confianza, por facilitarnos un lugar donde guardar algunos de los implementos de trabajo utilizados a todo lo largo del muestreo, logrando disminuir mucho el trabajo para la obtención de las muestras.

A la Universidad Católica Andrés Bello por darnos la oportunidad de ser parte de ella y formarnos en esta grandiosa casa de estudios.

Fue un trabajo largo y difícil, gracias a todos ustedes hemos logrado su culminación y ha sido un camino muy grato por haberlo compartido con todos ustedes.

**Gracias por su apoyo.**

## ÍNDICE GENERAL

PORTADA PRINCIPAL.....	I
PORTADA (FIRMA DE JURADO) .....	III
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS.....	VII
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVI
RESUMEN.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b><i>CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....</i></b>	<b><i>1</i></b>
<b>1.1 Planteamiento del Problema .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Antecedentes .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Objetivos .....</b>	<b>3</b>
1.3.1 Objetivo general .....	3
1.3.2 Objetivos específicos .....	3
<b>1.4 Justificación .....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Alcance y Limitaciones .....</b>	<b>4</b>

<b><i>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</i></b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 Antecedentes de la Investigación</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2 Clasificación de las Aguas</b> .....	<b>9</b>
<b>2.3 Origen y Clasificación de las Aguas Servidas</b> .....	<b>10</b>
<b>2.4 Aguas Servidas Domésticas</b> .....	<b>12</b>
<b>2.5 Composición de las Aguas Servidas Domésticas y Otras Edificaciones de Uso Público</b> .....	<b>12</b>
<b>2.6 Indicadores de Contaminación de las Aguas Servidas y Tratadas</b> .....	<b>14</b>
2.6.1 Indicadores físicos fundamentales .....	14
2.6.2 Indicadores químicos fundamentales .....	16
2.6.3 Indicadores microbiológicos fundamentales .....	17
<b>2.7 Cuantificación de la Producción, Contenido Orgánico y Contenido Microbiológico de las Aguas Servidas Municipales de Uso Público</b> .....	<b>18</b>
2.7.1 Cuantificación de la producción .....	18
2.7.2 Contenido orgánico .....	19
2.7.3 Contenido microbiológico .....	20
<b>2.8 Reutilización de las Aguas Servidas</b> .....	<b>21</b>
<b>2.9 Reusos más Comunes de las Aguas Servidas</b> .....	<b>21</b>
<b>2.10 Procesos y Operaciones Clásicas de Depuración de Aguas Servidas Municipales-Educacionales</b> .....	<b>22</b>
2.10.1 Operaciones físicas .....	22
2.10.2 Procesos químicos, físico-químicos y físico-biológicos .....	23
2.10.3 Procesos biológicos.....	24

2.10.3.1	Procesos aerobios .....	25
2.10.3.2	Procesos anaerobios.....	26
2.10.3.3	Procesos facultativos .....	26
2.10.4	Procesos anóxicos.....	26
<b>2.11</b>	<b>Sistemas de Tratamiento Más Comunes y su Diseño.....</b>	<b>26</b>
2.11.1	Sedimentación .....	27
2.11.1.1	Sedimentadores de placas inclinadas .....	27
2.11.2	Rata hidráulica de los biofiltros.....	28
2.11.2.1	Biofiltro de lecho fijo .....	29
2.11.2.2	Lecho compacto .....	30
2.11.2.3	Formulaciones para medio filtrante de material plástico. (Diseño de un biofiltro) .....	30
<b>2.12</b>	<b>Desinfección con Rayos Ultravioleta .....</b>	<b>34</b>
2.12.1	Desinfección (por rayos UV) .....	35
<b>2.13</b>	<b>Cálculo de la Eficiencia en la Remoción de Contaminantes .....</b>	<b>36</b>
<b>2.14</b>	<b>Selección y Propuesta de una Combinación de Procesos y Operaciones con Carácter Sustentable en Plantas Compactas.....</b>	<b>36</b>
2.14.1	Tipos de reactores.....	37
2.14.2	Propuesta del (RBS) Reactor Bio-Sanitario.....	38
<b>2.15</b>	<b>Marco Legal Internacional.....</b>	<b>40</b>
<b>2.16</b>	<b>Evaluación del Cumplimiento de los ODM en América del Sur y Venezuela....</b>	<b>41</b>
2.16.1	Información estadística nacional .....	44
<b>2.17</b>	<b>Marco Legal Venezolano Actual.....</b>	<b>45</b>

<b>CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>47</b>
<b>3.1 Enfoque del Trabajo y Tipo de Investigación.....</b>	<b>47</b>
<b>3.2 Aplicaciones del RBS.....</b>	<b>47</b>
<b>3.3 Ubicación del Montaje y Diseño de la Combinación Seleccionada.....</b>	<b>47</b>
<b>3.4 Selección y Ubicación del Sitio de Toma. ....</b>	<b>48</b>
<b>3.5 Aspectos Constructivos y Materiales a Utilizar.....</b>	<b>49</b>
<b>3.6 Captación de las Aguas Servidas .....</b>	<b>50</b>
<b>3.7 Planteamiento de Funcionamiento del Sistema .....</b>	<b>50</b>
<b>3.8 Función a Cumplir y Dimensionamiento de las Partes que Conforman el Sistema</b>	<b>53</b>
3.8.1 Tanque almacenador (Desbaste) .....	53
3.8.2 Tanque compensador principal A .....	54
3.8.3 Reactor bio-sanitario (RBS) .....	54
3.8.3.1 Cámara 1: sedimentador de placas inclinadas.....	56
3.8.3.2 Cámara 2 aeróbica: biofiltro de lecho fijo.....	56
3.8.3.3 Cámara 3: sedimentador final.....	57
3.8.4 Aireación .....	57
3.8.5 Tanque compensador para el sistema de recirculación (B).....	58
3.8.6 Recirculación .....	58
3.8.7 Tubo UV.....	58
3.8.8 Disposición final .....	59
<b>3.9 Consumo de Energía .....</b>	<b>59</b>
<b>3.10 Programación de la Frecuencia de la Toma de Muestras .....</b>	<b>60</b>

<b>3.11</b>	<b>Ensayos a Realizar para Medición de Contaminación de las Aguas Servidas en Estudio.....</b>	<b>61</b>
<b>3.12</b>	<b>Tipos de Análisis y Equipos a Utilizar.....</b>	<b>62</b>
<b>3.13</b>	<b>Caudal de Diseño y Velocidad de Entrada .....</b>	<b>63</b>
<b>3.14</b>	<b>Programación y Arranques de Bombas .....</b>	<b>64</b>
<b>3.15</b>	<b>Costos Constructivos.....</b>	<b>65</b>
<b>3.16</b>	<b>Organización en el Laboratorio.....</b>	<b>66</b>
<b>4</b>	<b><i>ANÁLISIS DE RESULTADOS</i> .....</b>	<b>67</b>
<b>4.1</b>	<b>Comportamiento Hidráulico del Tanque RBS.....</b>	<b>67</b>
4.1.1	Prueba de movimiento hidráulico.....	67
4.1.2	Carga hidráulica volumétrica .....	67
4.1.3	Tiempo de retención en el RBS.....	68
4.1.4	Carga orgánica volumétrica.....	69
4.1.5	Velocidad superficial del flujo .....	69
4.1.6	Carga hidráulica del biofiltro de lecho fijo .....	70
<b>4.2</b>	<b>Cálculo Numérico de Biosferas y Modelación de Carga Orgánica Dentro del Lecho Filtrante .....</b>	<b>71</b>
<b>4.3</b>	<b>Comportamiento de los Procesos Físico-Químico y Biológico del Tanque RBS</b>	<b>72</b>
4.3.1	Promedios de los resultados obtenidos en los ensayos .....	72
4.3.2	Cálculo de las eficiencias .....	73
4.3.3	Resultados generales de los ensayos realizados en la modelación .....	74
<b>4.4</b>	<b>Resultados Cualitativo .....</b>	<b>86</b>



<b>5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>87</b>
<b>5.1 Conclusiones</b> .....	<b>87</b>
<b>5.2 Recomendaciones</b> .....	<b>89</b>
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>95</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>99</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Clasificación de las aguas</i> .....	10
<i>Tabla 2. Centros institucionales: Caudales de agua residual típicos</i> .....	11
<i>Tabla 3. Análisis de las aguas residuales domésticas realizado por la AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION</i> .....	13
<i>Tabla 4. Dotación de agua para edificaciones de instituciones de uso educacional</i> .....	19
<i>Tabla 5. Aplicaciones de las operaciones físicas en el tratamiento de aguas residuales</i> .....	22
<i>Tabla 6. Aplicaciones de los procesos químicos, físico-químicos y físico-biológicos en el tratamiento de aguas residuales.</i> .....	23
<i>Tabla 7. Carga hidráulica y orgánica para biofiltros de baja y alta rata</i> .....	29
<i>Tabla 8. Coeficientes de temperatura – actividad para diversos procesos biológicos de tratamiento</i> .....	33
<i>Tabla 9. Desventajas y ventajas de la desinfección por rayos UV</i> .....	35
<i>Tabla 10. Características del agua residual que afectan el desempeño de la desinfección con luz UV</i> .....	35
<i>Tabla 11. Principales tipos de reactores empleados en el tratamiento del agua residual</i> .....	37
<i>Tabla 12. Dimensiones del tanque de modelación</i> .....	55
<i>Tabla 13. Consumo de energía del RBS</i> .....	59
<i>Tabla 14. Tipos de muestras y horario de toma</i> .....	60
<i>Tabla 15. Tipo de análisis y procedimientos a utilizar en cada ensayo</i> .....	62
<i>Tabla 16. Cálculo de caudales a manejar y velocidades dentro del sistema</i> .....	64
<i>Tabla 17. Programación del temporizador para la bomba P-101</i> .....	65
<i>Tabla 18. Programación de los temporizadores para las bombas P-102 y P-103 en paralelo</i> .....	65
<i>Tabla 19. Costos de materiales utilizados</i> .....	66
<i>Tabla 20. Tiempos de retención en cada cámara y sub-cámara</i> .....	68
<i>Tabla 21. Cálculo de <math>L_e</math> (DBO a la salida) y <math>L_o</math> (DBO a la entrada del reactor con la ecuación (12) y ecuación (10)</i> .....	72
<i>Tabla 22. Valores promedios de los resultados obtenidos en los ensayos</i> .....	73
<i>Tabla 23. Eficiencia del RBS y valores de remoción según los valores promedios</i> .....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Decantación de partículas en sedimentadores de placas inclinadas</i> .....	27
<i>Figura 2. Diagrama de operación típico de un filtro percolador</i> .....	30
<i>Figura 3. Sistema sin recirculación pero con descarga</i> .....	31
<i>Figura 4. Sistema de recirculación y descarga (Compensación de la carga)</i> .....	32
<i>Figura 5. Afectación del rayo UV sobre la bacteria o virus</i> .....	34
<i>Figura 6. Esquema del Reactor Bio-Sanitario. (RBS)</i> .....	38
<i>Figura 7. Prototipo aproximado del Reactor Bio-Sanitario. (RBS)</i> .....	39
<i>Figura 8. Resumen de cobertura de Saneamiento (América del sur)</i> .....	42
<i>Figura 9. Cobertura total de Saneamiento (América del sur)</i> .....	42
<i>Figura 10. Cobertura total de Saneamiento (Venezuela)</i> .....	43
<i>Figura 11. Resumen de cobertura de Saneamiento (Venezuela)</i> .....	43
<i>Figura 12. Abastecimiento de agua en Venezuela según censo de 2011. INE. “Instituto nacional de estadística” tabulaciones básicas. Condición de ocupación</i> .....	44
<i>Figura 13. Eliminación de excretas en Venezuela según censo de 2011. INE. “Instituto nacional de estadística” tabulaciones básicas. Condición de ocupación</i> .....	45
<i>Figura 14. Ubicación de boca de visita seleccionada BVR</i> .....	49
<i>Figura 15. Diagrama de flujo del sistema RBS</i> .....	51
<i>Figura 16. Dimensionamiento propio del tanque RBS y líneas de flujo</i> .....	55
<i>Figura 17. Tubo UV utilizado</i> .....	59
<i>Figura 18. Muestras de aguas según el punto de toma en el sistema RBS</i> .....	86

## ÍNDICE DE ANEXOS

<i>ANEXO A. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. Capítulo IX.....</i>	<i>101</i>
<i>ANEXO B. Ley Orgánica del Ambiente .....</i>	<i>102</i>
<i>ANEXO C. Ley de Aguas.....</i>	<i>104</i>
<i>ANEXO D. Decreto N°883 .....</i>	<i>106</i>
<i>ANEXO E. Foto de Colocación de tanque almacenador y el tanque compensador principal A.....</i>	<i>111</i>
<i>ANEXO F. Medición mediante el pHmetro.....</i>	<i>112</i>
<i>ANEXO G. Determinación de color real mediante el uso de un aparato con discos pre-calibrados.....</i>	<i>112</i>
<i>ANEXO H. Aparato utilizado para la determinación de turbiedad (Turbidímetro). .....</i>	<i>113</i>
<i>ANEXO I. Medición mediante el medidor multiparamétrico para Sólidos disueltos totales y Conductividad... ..</i>	<i>114</i>
<i>ANEXO J. Determinación de la DBO<sub>5,20</sub>.....</i>	<i>115</i>
<i>ANEXO K. Determinación de DQO.....</i>	<i>116</i>
<i>ANEXO L. Determinación de sólidos totales mediante uso de la balanza analítica (pesos de las muestras).....</i>	<i>117</i>
<i>ANEXO M. Determinación de sólidos sedimentables.....</i>	<i>119</i>
<i>ANEXO N. Lupa para contar colonias (UFC) y procedimiento para el análisis de microbiología. ....</i>	<i>119</i>
<i>ANEXO O. Fotos de bidones utilizados para el traslado.....</i>	<i>124</i>
<i>ANEXO P. Tanque de madera para prueba hidráulica.....</i>	<i>125</i>
<i>ANEXO Q. Aparato Aireador.....</i>	<i>126</i>
<i>ANEXO R. Tanque Compensador para sistema de recirculación (B).....</i>	<i>126</i>
<i>ANEXO S. Detalles del Tube - UV.....</i>	<i>127</i>
<i>ANEXO T. Bases de datos obtenidos de los ensayos realizados a las muestras.....</i>	<i>129</i>
<i>ANEXO U. Fotos de sistema RBS.....</i>	<i>145</i>
<i>ANEXO V. Esferas de PEAD.....</i>	<i>148</i>
<i>ANEXO W. Cálculos numéricos del biofiltro.....</i>	<i>149</i>



## RESUMEN

En este trabajo se propone la evaluación funcional de un modelo experimental de depuración de aguas servidas con la finalidad de evaluar una combinación compacta de operaciones que permitan obtener aguas reutilizables para el uso de riego de zonas verdes, y para el servicio de una segunda línea de agua depurada que podría servir en la alimentación de inodoros dentro de una instalación escolar, titulado DISEÑO Y MODELACIÓN DE UN REACTOR BIO-SANITARIO (RBS), PARA DEPURACIÓN SUSTENTABLE DE AGUAS SERVIDAS EN INSTALACIONES ESCOLARES.

El agua potable que es almacenada dentro de la instalación escolar tendría un mejor aprovechamiento, ya que se ha observado que el servicio del vital líquido llega con poca frecuencia a dichas instalaciones, haciendo que en la mayoría de los casos no tenga disponibilidad mayor a un día de dotación y una vez que se termina el agua almacenada se deben suspender las actividades, a veces hasta por más de un día.

Uno de los planteamientos propuestos para solventar la escasez del agua, es la reutilización de las aguas servidas por medio de tratamientos que permitan acondicionarlas a niveles que sean similares a los parámetros de calidad agua según decreto 883. Este planteamiento también puede ser una solución para aquellos lugares en donde no puede utilizarse otro tipo de tratamiento y se requiera de un menor uso de energía.

Finalmente para comprobar que el sistema es viable se realizó con frecuencia la toma de muestras, se analizaron los resultados obtenidos de diversos ensayos y se generaron conclusiones y recomendaciones para ser aplicadas en la práctica del prototipo real correspondiente.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo consistió en el diseño y construcción de una unidad modular a una escala preseleccionada para luego evaluar su funcionamiento hidráulico, determinando parámetros como son, velocidades y caudales del sistema. Posteriormente se procedió a una evaluación funcional del prototipo modular con la toma de muestras y sus correspondientes análisis en el laboratorio para verificar la eficiencia de remoción del sistema en conjunto.

La modelación y puesta en funcionamiento del sistema RBS se llevó a cabo cuando las actividades dentro de la universidad transcurrieron con normalidad en horarios que simulaban las actividades de una instalación escolar de dos turnos por días de lunes a viernes durante un período de 4 meses continuos que permitieron que reactor se estabilizara y se procediera a tomar las muestras para sus análisis.

A fines de procesar de manera continua y eficiente el total de muestras diariamente tomadas, se planificó los tiempos de ejecución de los análisis a realizar mediante la supervisión de los técnicos especializados en el laboratorio de ingeniería sanitaria, a fin de llevar con éxito los procedimientos correspondientes a cada ensayo.

Las aguas utilizadas para la modelación provienen de la disposición de aguas provenientes de pocetas y urinarios, así como las aguas de las actividades de limpieza personal (lavamanos, duchas, fregaderos de los cafetines) dentro del campus de la UCAB.

Una vez tratada y desinfectada, el agua se hace apta para usos no potable tales como regar áreas verdes y realimentación de pocetas y urinarios, limpieza de calles y avenidas, etc.

El ensayo del módulo RBS se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la UCAB, específicamente en el anexo del laboratorio de ingeniería sanitaria ambiental (LABSAM), en el segundo piso del edificio del laboratorio de ingeniería, con acceso a la terraza, lo cual permitió colocar el tanque almacenador y el tanque compensador principal A, fuera del edificio del laboratorio para control de gases y olores indeseables que pudieran afectar a los usuarios del edificio.

## INTRODUCCIÓN

El sistema de modelación referente a una instalación escolar manejó criterios que permitieron una homologación del funcionamiento típico dentro de una institución educacional.

El proceso consiste en recolectar las aguas servidas provenientes de la institución en un tanque compensador de agua servida, que posteriormente atraviesa la unidad del reactor bio-sanitario y finaliza en un tanque secundario de almacenamiento del agua pre-tratada para su recirculación al sistema, así como su reuso o disposición final.

## CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del Problema

Las instalaciones escolares están en la necesidad de ahorrar agua potable y la manera viable es la reutilización de las aguas servidas mediante un sistema de depuración lo más sustentable posible con el fin de ser almacenada y luego ser utilizada mediante la instalación previa de una segunda línea que irá conectada únicamente a los inodoros y de esta manera permitir darle el uso adecuado al agua potable en aquellos momentos en que escasea. Así mismo, el agua depurada puede ser utilizada para el riego de jardines dentro de la institución.

En aquellas zonas rurales donde escasea el agua potable, se considera un líquido muy apreciado por la comunidad y el sistema que se plantea en este trabajo de grado podría permitirle a dicha comunidad darle el uso adecuado agua potable, dejando el sistema de inodoros funcionando con el agua depurada dentro las instalaciones escolares durante todo el periodo escolar evitando la suspensión de actividades por falta de agua.

El agua potable almacenada tendría un mejor aprovechamiento, ya que se ha observado que el servicio del vital líquido llega con poca frecuencia a dichas instalaciones, haciendo que en la mayoría de los casos no tenga disponibilidad mayor a un día de dotación y una vez que se termina el agua almacenada se deben suspender las actividades, a veces hasta por más de un día.

Se fijará conceptualmente las razones que justifican estudios como el aquí propuesto de la siguiente manera:

- La educación ambiental en nuestro país se ve opacada por la falta de cultura así como la poca importancia que se le da a la misma.
- La impunidad ambiental se extiende por todas partes y una de sus causas es la falta de “soluciones-ofertas” y “estímulos” para cooperar en la defensa del medio ambiente.

## CAPITULO I

- La urbanización anarquizada del país genera millones de metros cúbicos de aguas servidas no acondicionadas que afectan a muchos cuerpos receptores y áreas utilizables para mejorar el ambiente.
- El pretratamiento y la reutilización de las aguas usadas son una alternativa válida para bajar los altísimos costos de gestión de aguas urbanas.
- Las áreas rurales y rural-urbanas del país no pueden costear sistemas colectores y de tratamientos convencionales, es necesario implantar soluciones más económicas y efectivas, que permitan el reúso de las aguas depuradas.

### **1.2 Antecedentes**

Es importante destacar que los antecedentes se basan en TEG realizados en la UCAB, sede Caracas. Los cuales tratan de los elementos o partes que conformaran el sistemas RBS y que de los cuales se han realizados estudios previos de cada uno de ellos por separados; estos mismo antecedentes serán explicados en el desarrollo del marco teórico para conocer en detalle lo que se logró en cada una de ellos y su relación directa con la investigación planteada.

1. Maria P. Christiansen y Jelinek Martinez A. (TEG. 2004). “Diseño Teórico de un Prototipo de Biofiltro Domiciliario como Tratamiento Secundario para Aguas Negras”. UCAB, Caracas, VE.
2. Ediverto Aguirre M. y Karem Amato H. (TEG año 2006). “Evaluar la Eficiencia del Purificador de Agua UV TUBE propuesto por el Rochester Institute of Technology (RTI)”. UCAB, Caracas, VE.
3. Castellano Kharolyn D. y De Santis Claudio A. (TEG Oct. 2008). “Evaluación Funcional de un Modelo Experimental de Depuración Sustentable de Aguas Servidas Domiciliarias (U.D.S.A.S.) en el Laboratorio de Aguas de la Escuela de Ingeniería Civil de la UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO”. UCAB, Caracas, VE.

## CAPITULO I

4. Desireé Romero. (TEG Feb. 2009). “Construcción, Montaje y Evaluación Funcional de un Biofiltro de Flujo Horizontal en la Unidad Experimental de Depuración Sustentable de Aguas Servidas Domiciliarias de la Escuela de Ingeniería Civil de la UCAB”. UCAB, Caracas, VE.

5. Grace Daniela Chacón y Jesús Alejandro Jiménez. (TEG Oct 2009). “Diseño, Construcción y Evaluación de un Nuevo Esterilizador de Agua Uv Tube-UCAB para Aguas Servidas Domiciliarias Pre-Tratadas con Caudales de hasta 15 Litros por Minuto”. UCAB, Caracas, VE.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo general

Proponer un sistema de operaciones y procesos combinados, para obtener una depuración lo más sustentable posible de aguas servidas en instalaciones escolares, con el fin de ser reutilizadas como aguas de riego y posible instalación de una segunda línea de agua para alimentar los sistemas de inodoros.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar y construir un modelo RBS a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales en instalaciones escolares.
- Caracterizar el comportamiento hidráulico del tanque modular que permitirá mantener un flujo constante para ayudar a remoción dentro del sistema.
- Caracterizar el comportamiento de los procesos físico-químico y biológico con un muestreo continuo para constatar el proceso de depuración.
- Analizar el comportamiento sistema RBS con y sin la utilización del tubo-UV, verificando los resultados obtenido en función del nivel de desinfección antes de la disposición final.

## CAPITULO I

### 1.4 Justificación

El presente trabajo especial de grado se plantea en consecuencia el desarrollo de un sistema que se pondrá en funcionamiento y con el cual se busca convalidar la eficiencia de los procesos y operaciones combinadas en el RBS propuesto.

Esto permitirá a las instalaciones escolares:

- Saneamiento en el entorno de la identidad escolar.
- Resolver problemas de salud público para los niños.
- Enseñanza ambiental para los niños.
- Reutilización de las aguas y ahorro de agua potable.

El fin principal es buscar un medio de depuración lo más sustentable posible que permita desarrollar un prototipo modular en el tratamiento de aguas servidas de instalaciones escolares, dicho tratamiento incluiría:

1. La no utilización de productos químicos de alto costo y de efectos degradantes en el ambiente.
2. La minimización del uso de energía eléctrica.
3. La aplicación de recirculación y reutilización de aguas depuradas para optimizar el RBS.
4. Las combinaciones acopladas de procesos físicos y biológicos auto reguladas, en unidades modulares compactas.

### 1.5 Alcance y Limitaciones

Entre los alcances para realizar el trabajo se consideran los siguientes:

- Verificar el funcionamiento hidráulico del diseño preliminar.

**CAPITULO I**

- Verificar en el modelo a escala los niveles de eficiencia en remoción de los parámetros más importantes. (físico, químicos y bacteriológicos), dentro del RBS como un sistema unificado y compacto.
- Evaluar la auto-sustentabilidad que puede ofrecer el RBS a partir de:
  - ✓ El nivel de remoción que puede ofrecer el sistema sin la utilización de productos químicos.
  - ✓ Mínimo consumo de energía con el fin de evitar la dependencia de otros servicios. Búsquedas de alternativa ecológica adicional.
- Una vez verificados los resultados obtenidos y la eficiencia del (RBS), se procederá a optimizar el modelo, para que sirva como base para su proyección futura.

Entre las limitaciones para realizar el trabajo se consideran las siguientes:

- Se cuenta con pocas estadísticas o datos que relacionen el consumo de agua potable de cada estudiante dentro de una instalación escolar por día, según el número de turnos que pueda ofrecer dicha instalación.
- La recolección de datos (entrevistas, observación de campo) puede ser complicada, ya que depende del grado de receptividad y del interés que pueda brindar cada estudiante, así como personal docente y administrativo dentro de dicha instalación escolar.
- La escogencia del sitio para realizar el montaje de modelación del RBS, se puede ver limitado por espacio disponible en el laboratorio y que a su vez pueda funcionar sin obstaculizar las actividades diarias, con el fin de quedar como un equipo que pueda ser utilizado en investigaciones futuras luego de culminado el estudio.



## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la Investigación

En este punto se habla de cómo se ha venido planteando una estructuración de los diferentes componentes que debe llegar a tener el diseño de un reactor que pueda llevar a cabo la función de limpiar las aguas servidas de una vivienda o edificio público en este caso una instalación escolar, y que cuente con las características propias de una agua depurada que pueda ser reutilizada.

En primer lugar, siguiendo en orden cronológico, se llevó a cabo el TEG que lleva por nombre:

“Diseño Teórico de un Prototipo de Biofiltro Domiciliario como Tratamiento Secundario para Aguas Negras”. Maria P. Christiansen y Jelinek Martinez A. (TEG. 2004). UCAB, Caracas, VE.

Su objetivo se basó en elaborar el diseño teórico de un dispositivo compacto de biofiltración que con un tanque séptico logre reducir la carga contaminante del efluente final a niveles tales que permitan su disposición y/o reutilización segura y su resultado fue que se demostró teóricamente que el biofiltro con lecho plástico es eficiente para valores de DBO en el afluente alrededor de 200 mg/l y se deduce que el sistema puede funcionar como tratamiento primario siempre y cuando se garantice un sistema de desbaste que retenga los sólidos cuyo tamaño pueda obstruir el biofiltro.

El segundo TEG realizado fue:

“Evaluar la Eficiencia del Purificador de Agua UV TUBE propuesto por el Rochester Institute of Technology (RTI)”. Ediverto Aguirre M. y Karem Amato H. (TEG año 2006). UCAB, Caracas, VE.

## MARCO TEÓRICO

Su objetivo se basó en evaluar la eficiencia del UV- tube en la remoción de elementos infecciosos y su comportamiento ante las variables físico-químicas del agua elaborando una serie de ensayos con diversos parámetros entre los cuales se encuentran:

- Pruebas a distintas carga infecciosas variando la carga hidráulica de entrada.
- Pruebas a distintos valores de turbiedad del agua variando la carga hidráulica de entrada.

Se llegó a la conclusión de que mientras la velocidad dentro del tubo sea mínima mayor será la eficiencia de remoción y que además se requiere construir un sistema que permite regular caudal y comprobar el nivel de remoción en dicho sistema.

El tercer TEG realizado fue:

“Evaluación Funcional de un Modelo Experimental de Depuración Sustentable de Aguas Servidas Domiciliarias (U.D.S.A.S.) en el Laboratorio de Aguas de la Escuela de Ingeniería Civil de la UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO”. Castellano Kharolyn D. y De Santis Claudio A. (TEG Oct. 2008). UCAB, Caracas, VE.

Su objetivo se basó en diseñar e instalar un modelo de depuración de aguas servidas combinado unidades de sedimentación biofiltración y desinfección dentro de la universidad Católica Andrés Bello dando como resultado luego de los análisis y mediciones de eficiencia en cada una de las unidades a la hora de trabajar en conjunto; se pudo demostrar que es viable para poder implementar el diseño y evaluación de un sistema compacto que integre los procesos aquí en estudio.

El cuarto TEG realizado fue:

“Construcción, Montaje y Evaluación Funcional de un Biofiltro de Flujo Horizontal en la Unidad Experimental de Depuración Sustentable de Aguas Servidas Domiciliarias de la Escuela de Ingeniería Civil de la UCAB”. Desireé Romero.. (TEG Feb. 2009). UCAB, Caracas, VE.

## MARCO TEÓRICO

El objetivo es construir e incorporar a la unidad de depuración sustentable de aguas servidas ubicada en la Universidad Católica Andrés Bello, un biofiltro de flujo horizontal en la búsqueda de la practicidad y eficiencia en los procesos para el bio-tratamiento indispensable en cada planta depuradora, promoviendo una depuración de aguas servidas domiciliarias sostenible ambiental, energética y económicamente y su resultado fue que se recomendó continuar la investigación hasta lograr una película estable, para poder verificar el tratamiento de aguas residuales íntegro y compacto, así como mejorar el tiempo de retención dentro del tubo de luz ultravioleta.

El Quinto TEG realizado fue:

“Diseño, Construcción y Evaluación de un Nuevo Esterilizador de Agua UV Tube-UCAB para Aguas Servidas Domiciliarias Pre-Tratadas con Caudales de hasta 15 Litros por Minuto”. Grace Daniela Chacón y Jesús Alejandro Jiménez. (TEG Oct 2009). UCAB, Caracas, VE.

Su objetivo es optimizar la calidad de construcción en un nuevo UV-tube haciendo más duradero al utilizar material PEAD (polietileno de alta densidad) y con mayor tiempo de retención. Se demostró que al comparar la cantidad de colonias de bacterias existente en muestras tomadas a la entrada y la salida del UV-tube se observa una alta eficiencia en la remoción de bacterias.

### **2.2 Clasificación de las Aguas**

Basándose en el estudio a realizar, es importante destacar como se clasifican las aguas, ya que una vez realizado el estudio se puede definir a que nivel depuración se puede aproximar el reactor en estudio según los valores que se pueda obtener luego de los análisis que se vayan a realizar.

De acuerdo al Artículo 2°, Capítulo I del Decreto 883 referido a las "Normas para la Planificación y Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos" de la República de Venezuela (1995), se entiende por:

## MARCO TEÓRICO

- Calidad de un cuerpo de agua: Caracterización física, química y biológica de aguas naturales para determinar su composición, utilidad al hombre y demás seres vivos.

Las aguas se clasifican en distintos tipos según su uso, los cuales se ilustran en la siguiente tabla:

*Tabla 1. Clasificación de las aguas*

<b>Tipo 1</b> Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.	
Sub-Tipo 1A	Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.
Sub-Tipo 1B	Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.
Sub-Tipo 1C	Aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional.
<b>Tipo 2</b> Aguas destinadas a usos agropecuarios.	
Sub-Tipo 2A	Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano
Sub-Tipo 2B:	Aguas para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario
<b>Tipo 3</b> Aguas marinas o de medios costeros destinadas a la cría y explotación de moluscos consumidos en crudo.	
<b>Tipo 4</b> Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia.	
Sub Tipo 4A	Aguas para el contacto humano total.
Sub Tipo 4B	Aguas para el contacto humano parcial
<b>Tipo 5</b> Aguas destinadas para usos industriales que no requieren de agua potable.	
<b>Tipo 6</b> Aguas destinadas a la navegación y generación de energía.	
<b>Tipo 7</b> Aguas destinadas al transporte, dispersión y desdoblamiento de poluentes sin que se produzca interferencia con el medio ambiente adyacente.	

**Fuente:** Tomado del artículo 2º, Capítulo I del Decreto 883 referido a las "Normas para la Planificación y Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos" de la República de Venezuela (1995).

### 2.3 Origen y Clasificación de las Aguas Servidas

De acuerdo al Artículo 2º, Capítulo I del Decreto 883 referido a las "Normas para la Planificación y Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos" de la República de Venezuela (1995), se entiende por:

- Aguas servidas: aguas utilizadas o residuales provenientes de una comunidad, industria, granja u otro establecimiento, con contenido de materiales disueltos o suspendidos.

## MARCO TEÓRICO

Las aguas servidas se clasifican en: aguas residuales domésticas, aguas residuales comerciales, aguas residuales industriales, aguas residuales agrícolas.

Según Metcalf & Eddy, (1972). El agua residual municipal es el volumen proveniente de los efluentes domésticos, industriales y escorrentía generada en áreas urbana.

Agua residual es el término genérico utilizado para designar el residuo líquido recogido mediante la red de alcantarillado para enviarla a una planta de tratamiento de agua residual municipal.

La composición de los caudales de aguas residuales municipales depende del tipo de sistema de recogida que se emplee, y puede incluir los siguientes componentes:

1. **Agua residual doméstica (o sanitaria): Procedente de zonas residenciales o instalaciones comerciales, públicas y similares.**
2. Agua residual industrial: Aguas residual en la cual predominan vertidos industriales.

Para centros institucionales. Según la tabla 2 se ofrecen datos sobre los caudales de agua residual, fundamentalmente doméstica, que se generan en instituciones públicas.

*Tabla 2. Centros institucionales: Caudales de agua residual típicos*

Fuente	Unidad	Caudal (m <sup>3</sup> /unidad · día)	
		Intervalo	Valor típico
Hospital médico	Cama	470-900	625
	Empleado	20-55	40
Hospital psiquiátrico	Cama	285-530	380
	Empleado	20-55	40
Prisión	Recluso	285-570	435
	Empleado	20-55	40
Asilo	Residente	190-455	320
Colegio, diurno	Estudiante	Con cafetería, gimnasio y duchas	55-115
		Sólo con cafetería	40-75
		Sin cafetería ni gimnasio	20-65
		Colegio, internado	190-380

**Fuente:** tomado de Metcalf & Eddy, 1972. Capítulo 2, Origen y caudales de las aguas residuales domésticas.

## MARCO TEÓRICO

Es importante destacar que para este estudio sólo se tomarán en cuenta las aguas residuales domésticas (o sanitarias), las cuales provienen de edificios públicos y otras instalaciones, según como lo indica el libro de Metcalf & Eddy. Es decir, las aguas residuales de una instalación escolar que tenga un comedor o cafetín tienen las mismas características que un agua residual domésticas.

### **2.4 Aguas Servidas Domésticas**

Las aguas servidas domésticas (o sanitaria) son aquellas que provienen directamente de las actividades propias del ser humano, es decir, están formadas por aguas grises, las cuales se generan por procesos de un hogar, tales como: las aguas de la cocina, el lavado de utensilios, de ropa, así como la higiene personal, y por las aguas negras que son aquellas que están contaminadas con sustancias fecales y orina, procedentes de vertidos orgánicos humanos y animales. Es importante destacar que la diferencia entre las aguas negras y las aguas grises, es que en estas últimas no predominan bacterias del tipo fecal por mencionar alguna.

Se considera que las aguas servidas domésticas en un área residencial son aproximadamente iguales a la de otra área residencial sin importar la región o el país, debido a que sus componentes químicos, físicos y biológicos son del mismo carácter, sin embargo no presentan la misma proporción en cuanto a los componentes presentes, ya que éstos pueden variar de un valor a otro en función de sus hábitos, culturas y costumbres de vida.

### **2.5 Composición de las Aguas Servidas Domésticas y Otras Edificaciones de Uso Público**

Las aguas residuales frescas de origen doméstico (o sanitario) en este caso centros institucionales, emergen como un líquido turbio, de color gris o amarillento, en el cual van suspendidas partículas de sedimentos, residuos vegetales, tiras de papel, materiales sintéticos, jabón, aceites y grasas, sales, heces, orina, materia mineral insoluble (arena, arcilla), entre otros.

Las heces son el conjunto de los desperdicios generalmente sólidos que genera todo ser viviente como producto final del proceso de la digestión. Formadas por los restos de los

## MARCO TEÓRICO

alimentos no absorbidos por el tubo digestivo (como fibras y otros componentes que no son útiles para el ser en cuestión).

La orina normal está formada por un 96% de agua y un 4% de sólidos en solución. Cerca de la mitad de los sólidos incluye nitrógeno, cloruros, cetosteroides, fósforo, amonio, creatinina y ácido úrico, la otra mitad está formada por la urea, el cual es un compuesto químico cristalino e incoloro (principal producto de degradación del metabolismo de las proteínas). Castellano, K. y De Santis, C. (2008).

A continuación en la siguiente tabla, se muestra los niveles que pueden presentar la composición usual integrada de un agua residual doméstica, procedente de zonas residenciales o instalaciones comerciales, públicas y similares.

**Tabla 3. Análisis de las aguas residuales domésticas realizado por la AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION**

Constituyentes(mg/1)	Concentración		
	Alta	Media	Baja
Solidos totales	1000	500	200
-volátiles	700	350	120
-fijos	300	150	80
Totales en suspensión	500	300	100
-volátiles	400	250	70
-fijos	200	100	50
Totales disueltos	500	200	100
-volátiles	300	100	50
-fijos	200	100	50
Sedimentales, ml/l	12	8	4
DBO5,20	300	200	100
Consumo de oxígeno	150	75	30
Oxígeno disuelto	0	0	0
Nitrógeno Total	85	50	25
-orgánico	35	20	10
-amoniacal	30	30	15
-nitrito	0,1	0,05	0
-nitrato	0,4	0,20	0,1
Cloruros	175	100	15
Alcalinidad (CaCo3)	200	100	50
Grasas y Aceites	40	20	0

**Fuente:** tomado de Metcalf & Eddy, (1972). Capítulo 3.

## MARCO TEÓRICO

### **2.6 Indicadores de Contaminación de las Aguas Servidas y Tratadas**

El análisis del grado de contaminación se obtiene mediante la cantidad de compuestos orgánicos que se miden en términos de demanda de oxígeno (necesario para su estabilización), e inorgánicos presente en una muestra, los mismos sirven para cuantificar los rasgos distintivos de las aguas servidas domésticas-educacionales así como también las aguas obtenidas después de su tratamiento.

#### **2.6.1 Indicadores físicos fundamentales**

- Color: las aguas servidas son usualmente de un color marrón grisáceo claro, sin embargo, a medida que incrementa el tiempo de viaje hacia los sistemas colectores y se desarrolla una condición más anaeróbica el color cambia secuencialmente de gris a gris oscuro y finalmente a negro, debido a la ausencia de oxígeno disuelto y de los sólidos flotantes y suspendidos. Las unidades en que se expresa el color, son las unidades de color y los resultados de las mediciones deben expresarse en números enteros.

- Turbiedad: en general, existe relación entre la turbiedad y la concentración de sólidos suspendidos en las aguas servidas sin tratamiento, sin embargo permite tener una idea de la cantidad de materias extrañas en suspensión que pueden estar presentes en las aguas residuales, en especial: arcillas, limos, materia orgánica finamente dividida u otros organismos microscópicos; es decir, sirve de indicador del nivel de clarificación que se va obteniendo con cada operación y/o proceso al cual son sometidas las aguas servidas. Se miden en unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT). Castellano, K. y De Santis, C. (2008).

- Temperatura: debe tomarse continuamente la temperatura ambiental y la del agua durante las muestras, ya que la mayor o menor intensidad de las reacciones químicas y procesos biológicos dependen de la temperatura del ambiente o del medio en donde ellos se manifiestan. Principalmente se mide en grados centígrados (°C).

- Conductividad: el valor de la medida de la conductividad eléctrica (CE) puede ser usado como parámetro sustituto de la concentración de sólidos disueltos totales (SDT) debido a

## MARCO TEÓRICO

que la CE es la medida de la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica donde ésta es transportada por iones en solución, es decir, a mayor concentración de iones mayor conductividad. Se mide en  $\mu$ Siemens/cm. Castellano, K. y De Santis, C. (2008).

- Sólidos disueltos totales: se ha observado que los elementos que producen color y turbidez en las aguas naturales son:

a) Los sólidos suspendidos: son generalmente transportados debido a la acción de mezcla y arrastre de las aguas, éstos se pueden clasificar por tamaño en: no sedimentables (diámetros menores de 0,01 mm) y sedimentables (diámetros mayores de 0,01 mm).

b) Los sólidos coloidales consisten en: limo fino, bacterias, partículas causantes de color, virus, etc., los cuales no se sedimentan sino después de un tiempo razonable o mediante la ayuda de coagulantes que permitan la floculación entre ellos.

c) Los sólidos disueltos totales, también están formados por: materia orgánica e inorgánica, son invisibles separadamente, es decir son de tamaño iónico o molecular, no son sedimentables y por lo general causan problemas de olor, color, sabor en el agua; también pueden producir problemas de salud en las personas.

c.1) Los sólidos orgánicos están constituidos por: proteínas, carbohidratos y grasas, susceptibles a ser degradados por medio de bacterias y de organismos vivos que son oxidables, es decir, son biodegradables y su eliminación por oxidación es relativamente sencilla.

c.2) Los sólidos inorgánicos incluyen todos los sólidos de origen generalmente mineral, como son: sales minerales, arcillas, lodos, arenas y gravas no biodegradables, y ciertos compuestos como sulfatos y carbonatos.

Con la finalidad de remover los sólidos no sedimentables se puede hacer uso de los métodos físicos (sedimentación), o físico-químicos (coagulación-floculación-sedimentación). Castellano, K. y De Santis, C. (2008).

## MARCO TEÓRICO

### **2.6.2 Indicadores químicos fundamentales**

- pH: en el tratamiento de aguas servidas domésticas, industriales y educacionales que emplean procesos biológicos, el pH debe controlarse dentro de un rango que garantice la máxima eficiencia del proceso, de igual forma hay que tener especial cuidado con los procesos químicos utilizados para la coagulación de estas aguas, con la concentración de los lodos u oxidación de ciertas sustancias.

- Oxígeno Disuelto (OD): el oxígeno disuelto en el agua es un indicador importante de su calidad, ya que los cambios de contenido de OD producidos por polución son un factor significativo para evaluar cuán contaminada está el agua. Principalmente se mide en mg/l de OD o en % de Saturación que corresponde a la cantidad de oxígeno disuelto en la muestra de agua comparada con la cantidad máxima que podría estar presente a la misma temperatura.

- Demanda Química de Oxígeno (DQO): la evaluación de la demanda química de oxígeno es usada para medir el contenido de materia orgánica tanto de aguas servidas como de aguas naturales. El oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse es medido usando un agente químico oxidante muy mayor a la demanda bioquímica de oxígeno debido a, que tienen más componentes que pueden ser químicamente oxidados con respecto a los que pueden ser biológicamente oxidados, y se mide en mg/l. Castellano, K. y De Santis, C. (2008).

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5,20</sub>): es la cantidad de oxígeno requerido para la respiración de los microorganismos responsables de la oxidación bioquímica de la materia orgánica, al igual que la DQO se mide también en mg/l. Representa indirectamente una medida de la concentración de materia orgánica biodegradable contenida en el agua. La DBO es el parámetro más utilizado para evaluar la eficiencia de los tratamientos que se aplican a los líquidos residuales; cualquier reducción de DBO supone la eliminación parcial (o transformación) de la materia orgánica presente en las aguas servidas y en consecuencia, una reducción de su poder contaminante. Castellano, K. y De Santis, C. (2008).

## MARCO TEÓRICO

- Carbono Orgánico Total (COT): La prueba del COT es usada para medir el carbono orgánico total presente en una muestra acuosa y se mide en mg/l. Los métodos para la prueba del COT utilizan oxígeno y calor, radiación ultravioleta, oxidantes químicos o alguna combinación de éstos para convertir el carbono orgánico en dióxido de carbono el cual se mide con un analizador infrarrojo o por otros medios. El COT de determinadas aguas residuales puede usarse como medida de su contaminación y en algunos casos es posible relacionar este parámetro con la DBO y la DQO. Si se puede obtener una relación válida entre los resultados del COT y la DBO en el agua residual, entonces se recomienda el uso de COT para el control de los procesos. Castellano, K. y De Santis, C. (2008).

### ***2.6.3 Indicadores microbiológicos fundamentales***

- Índice de coliformes fecales: los organismos coliformes son abundantes y fáciles de identificar en comparación a otros microorganismos patógenos, por tal razón se consideran como organismos indicadores que existe contaminación en las aguas residuales, estos organismos son bacterias que están presentes en el tracto intestinal humano. Crites y Tchobanoglous (2000) señalan que una persona descarga entre 100 y 400 billones de organismos coliformes por día junto a otros microorganismos y clases de bacterias. Los organismos coliformes son inofensivos e incluso benefician la degradación de materia orgánica en los procesos de tratamientos de agua, sin embargo, junto a ellos, los seres humanos pueden descargar organismos patógenos, tales como aquellos causantes de enfermedades, entre ellas se mencionan, fiebre tifoidea, disentería, cólera, diarrea, etc. Castellano, K. y De Santis, C. (2008).

Las concentraciones de bacterias coliformes totales suelen expresarse como el número más probable por cada 100 mililitros (NMP/100ml) o en UFC (unidades formadoras de colonias) entre volumen diluido de muestra vertido o utilizado en la placa para el análisis (UFC/ml). Standard Methods. (1998).

## MARCO TEÓRICO

### **2.7 Cuantificación de la Producción, Contenido Orgánico y Contenido Microbiológico de las Aguas Servidas Municipales de Uso Público**

Lo aquí expresado también es aplicable para un instalación escolar, ya que se trata de la producción que una persona puede desarrollar según la actividad que esté realizando. Específicamente va asociado al uso que se le dé al edificio de uso público.

Es importante definir las ecuaciones que permitirán calcular cuánto puede ser la producción de agua servida en una población estudiantil dada, así como las ecuaciones que permitirán calcular el contenido orgánico e infeccioso tanto del agua servida como del agua tratada.

#### **2.7.1 Cuantificación de la producción**

Se considera que las aguas residuales domésticas o sanitarias equivalen al gasto de dotación menos el utilizado para la preparación de alimentos, bebidas y el riego de jardines. La norma I.N.O.S, "Normas e Instructivos para el Proyecto de Alcantarillados" de la República de Venezuela (Junio de 1965), en su Capítulo III, punto 3.8, señala lo siguiente:

#### **Punto 3.8- Cálculo del gasto de las aguas negras domésticas:**

$$Q_{med\ A.P} = Dotación * Población\ de\ diseño \quad (1)$$

El valor del gasto máximo (promedio diario anual) de las aguas negras domésticas, se obtendrá aplicando la formula siguiente:

$$Q_{máx\ A.N} = Q_{med\ A.P} * K * R \quad (2)$$

Siendo,  $Q_{med}$  = Gasto medio (promedio diario anual) de acueducto A.P que establece la localidad.

K= coeficiente que es función de la población futura, en este caso igual a 1.

R= coeficiente de gasto de reingreso, igual a 0,80. (Cantidad de agua residual aproximadamente a un 80% del consumo de agua).

## MARCO TEÓRICO

Según la norma I.N.O.S,

### **Punto 3.11- Cálculo del gasto de las aguas servidas por contribución institucional:**

(Hospitales, cárceles, cuarteles, escuelas y otros.) Estas aguas servidas, son generalmente de naturaleza doméstica. Su estimación se realizará en base a las dotaciones de agua que se fijan al respecto en las Normas Sanitarias del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (Actualmente, Gaceta Oficial N°4044-1988 Norma Sanitaria); aplicándose el coeficiente de gasto de reingreso ya indicado.

Por lo tanto:

$$Q_{m.A.N} = 0,80 * Q_{m.A.P} \quad (3)$$

Este T.E.G se basa en el estudio de aguas servidas en instalaciones escolares, por lo tanto, aplicando el Artículo 110 de la “Gaceta Oficial N° 4044-1988, Norma Sanitaria” se establece que:

**Tabla 4. Dotación de agua para edificaciones de instituciones de uso educacional**

<b>Planteles Educativos:</b>	
Con alumnado externo	40 litros/alumno/día
Con alumnado semi-interno	70 litros/alumno/día
Con alumno interno o residente	200 litros/alumno/día
Por personal residente en el plantel	200 litros/persona/día
Por personal no residente	50 litros/persona/día

**Fuente:** Adaptado y Elaborado, con información obtenida del Artículo 110 de la “Gaceta Oficial N° 4044-1988, Norma Sanitaria para proyecto, construcción, reparación, reforma y mantenimiento de edificaciones”

### **2.7.2 Contenido orgánico**

La materia orgánica existente en una muestra de agua servida, está referida a la demanda bioquímica de oxígeno por medio de la cual se determina en condiciones aerobias, el oxígeno requerido por las bacterias para estabilizar la materia orgánica. Como el período de incubación

## MARCO TEÓRICO

para la completa estabilización de un líquido residual es demasiado largo, se considera aceptable un periodo de 5 días de incubación a 20 °C, ya que en este tiempo se obtiene un valor entre un 70 y 80 % del total de la DBO. Se mide como (mg/l) de oxígeno consumido durante su período de incubación.

Para el cálculo de la carga orgánica se usa la siguiente ecuación, obtenida de la guía de “Análisis de agua y líquidos residuales y ensayos de laboratorio” Carrillo G., Marciales L. (Enero, 1998).

$$DBO_{5,20} \text{ en mg/l} = (OD_{0 \text{ días}} - OD_{5 \text{ días}}) / P \quad (4)$$

Donde, P = Fracción volumétrica decimal de muestra usada.

OD<sub>5 días</sub> = Oxígeno disuelto en la muestra diluida en mg/l, al final de la incubación.

OD<sub>0 días</sub> = Oxígeno disuelto en la muestra diluida en mg/l, inmediatamente después de la preparación.

### **2.7.3 Contenido microbiológico**

La carga infecciosa se puede calcular mediante la determinación del NMP, éste se basa en la aplicación de una distribución de Poisson para valores extremos encontrados en el análisis del número de resultados positivos y negativos obtenidos en ensayos de diferentes fracciones de la muestra de volúmenes iguales y en fracciones que sumen series geométricas. Al igual que la DBO<sub>5,20</sub> en el Decreto 883 referido a las "Normas para la Planificación y el Control de Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos" de la República de Venezuela (1995), las conversiones de carga microbiana a población equivalente (PE) se basarán en una contribución de 200\*10<sup>9</sup> coliformes en NMP/persona/día. Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. (1995).

Otra forma de medición de los coliformes fecales son las unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml), aunque no se han establecido normas, según Asaphi. (1970). Se considera que el agua de buena calidad (potable) debe contener un recuento bajo (inferior o

## MARCO TEÓRICO

igual a 100 UFC/ml); el ensayo de UFC consiste en aplicar la prueba de mesofilos aerobios en placas (HPC), mediante la cual se realiza el conteo de colonias formadas a partir de grupos, cadenas, parejas o células individuales de bacterias. Específicamente consiste en preparar dos (2) cápsulas de Petri estériles para cada dilución de las muestras, luego se mide 1ml de cada dilución y aproximadamente entre 12 y 15 ml del agar seleccionado, para luego mezclarlos y colocarlos en una estufa a 35°C por 48 h.

Transcurrido el tiempo de incubación pertinente se cuentan todas las colonias crecidas en las placas. Se elige aquella dilución en la que el número de colonias por placa se encuentre entre 30 y 300. descartando las otras diluciones para el recuento. Sólo se contarán las colonias de aquellas placas que posean menos de 30 en el caso de que sea una muestra sin diluir.

El resultado se expresara en unidades formadoras de colonias (UFC) por ml. A la hora de obtener este resultado hay que tener en cuenta el factor de dilución. STANDARD METHODS. (1998).

### **2.8 Reutilización de las Aguas Servidas**

El proceso de depuración de las aguas servidas consiste en bajar los niveles de los contaminantes presentes en ellas, donde el principal objetivo que busca el tratamiento, es el de depurar el agua con el fin de proteger la salud pública, mejorar la calidad de vida de las personas y proteger el medio ambiente al ser descargado en un cuerpo de agua.

El fin de la reutilización de las aguas servidas depuradas en instalaciones escolares, es reducir el consumo de agua potable a la hora del uso de inodoros y riego de los jardines, logrando de esta manera un mejor aprovechamiento del agua potable en el tiempo que servirá para darle uso a los lavamanos y preparación de alimentos en los cafetines.

### **2.9 Reusos más Comunes de las Aguas Servidas**

El agua residual depurada puede llegar a ser utilizada en:

- El lavado de calles
- Riego de jardines, áreas verdes, campos de golf, etc...

## MARCO TEÓRICO

- Riego agrícola
- Uso industrial
- Protección contra incendios.

Cabe destacar que la reutilización de las aguas servidas en las áreas agrícolas, requieren generalmente de tratamientos menos complejos, mientras que las reutilizaciones domésticas (directa o indirectamente potables o no) necesitan de un tratamiento más laborioso.

### **2.10 Procesos y Operaciones Clásicas de Depuración de Aguas Servidas Municipales-Educacionales**

Para la depuración del agua servida es necesario la aplicación de procesos químicos y biológicos y operaciones físicas que permiten la eliminación de agentes contaminantes.

Los principales procesos y operaciones utilizadas, se muestran a continuación:

#### **2.10.1 Operaciones físicas**

Las operaciones físicas más comúnmente empleadas en el tratamiento del agua residual incluyen: medición de caudales, desbaste, dilaceración, homogeneización de caudales, mezclado, sedimentación, sedimentación acelerada, flotación, filtración, transferencia de gases, y volatilización y arrastre de gases. En la tabla 5 se resumen las principales aplicaciones de cada una de ellas.

*Tabla 5. Aplicaciones de las operaciones físicas en el tratamiento de aguas residuales*

<b>Operación</b>	<b>Aplicación</b>
Medición del Caudal	Control y seguimiento de procesos, informes de descarga
Desbaste	Eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por intersección (retención en superficies)
Dilaceración	Trituración de sólidos gruesos hasta conseguir un tamaño más o menos uniforme
Mezclado	Mezclado de productos químicos y gases con el agua residual, mantenimiento de los sólidos en suspensión
Floculación	Provoca la agregación de pequeñas partículas aumentando el tamaño de las mismas, para mejorar su eliminación por sedimentación por gravedad

**MARCO TEÓRICO**

Sedimentación	Eliminación de sólidos sedimentables y espesados de fangos
Flotación	Eliminación de sólidos en suspensión finamente dividido y de partículas con densidades cercas a la del agua. También espesa los fangos biológicos
Filtración	Eliminación de los sólidos en suspensión residuales presentes después del tratamiento biológico
Microtamizado	Mismas funciones que la filtración. También la eliminación de las algas de los efluentes de las lagunas de estabilización
Transferencia de gases	Adición y eliminación de gases

Fuente tomado de Metcalf & Eddy, (1972).

**2.10.2 Procesos químicos, físico-químicos y físico-biológicos**

Con el fin de alcanzar los objetivos de tratamiento del agua residual, los procesos químicos se llevan a cabo en combinación con las operaciones físicas y los procesos biológicos.

Es importante destacar que una de las desventajas inherentes asociada al uso de los procesos químicos es que se trata de procesos aditivos (con la excepción de la absorción con carbón activado). En la mayoría de los casos, la eliminación de un constituyente se consigue por medio de la adición de otra sustancia. Como resultado de ello, se suele producir un incremento neto de los constituyentes disueltos en el agua residual. Cuando se añaden productos químicos para mejorar la eficacia de eliminación en la sedimentación simple, se produce un incremento en la concentración de sólidos totales disueltos que influye si se va a reutilizar el agua tratada.

Otra desventaja de los procesos químicos, es que conforman un costo adicional al funcionamiento importante dentro del sistema.

En la tabla 6 se describen brevemente los procesos más comunes.

**Tabla 6. Aplicaciones de los procesos químicos, físico-químicos y físico-biológicos en el tratamiento de aguas residuales.**

<b>Procesos</b>	<b>Aplicación y Descripción</b>
Precipitación química	Eliminación de fósforo y mejora de la eliminación de sólidos en suspensión en las instalaciones de sedimentación primaria empleadas en tratamientos fisicoquímicos.
Adsorción	Eliminación de materia orgánica no eliminada con métodos convencionales de tratamiento químico y biológico. También se emplea para aclarar el agua residual antes de su vertido final.

**MARCO TEÓRICO**

Desinfección con cloro	El cloro es el desinfectante más usado para el tratamiento del agua residual doméstica porque destruye los organismos al ser inactivados mediante la oxidación del material celular. Sin embargo, el cloro aún en bajas concentraciones puede ser tóxico para los seres vivos, generar problemas de corrosión, de oxidación de materiales orgánicos y aumenta el nivel de sólidos disueltos.
Decloración	Eliminación del cloro combinado residual total remanente después de la cloración (puede realizarse de diversas maneras)
Desinfección con ozono	El ozono se produce cuando las moléculas de oxígeno son disociadas por medio de una fuente de energía produciendo átomos de oxígeno que posteriormente chocan con una molécula de oxígeno para formar un gas inestable, el ozono, que se utiliza para desinfección de las aguas residuales. El tratamiento con ozono tiene la capacidad de lograr niveles más altos de desinfección en comparación con el cloro o la luz ultravioleta.
Coagulación	Es un proceso químico donde se desestabilizan las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante el cual, neutralizando sus cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí.
Floculación	Es un proceso físico-químico que con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación. El tiempo de retención y el gradiente de velocidad son importantes al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan y lograr que las partículas descendan, por efecto de la gravedad, y así se acumulen en el fondo.
Desinfección con luz ultravioleta.	Es un proceso físico-biológico en el cual el sistema de desinfección (UV) transfiere energía electromagnética desde una lámpara de vapor de mercurio al material genético del organismo (ADN o ARN). Cuando la radiación UV penetra en las paredes de la célula de un organismo, esta destruye la habilidad de reproducción de la célula.

**Fuente:** Adaptado de Metcalf & Eddy, (1972).

**2.10.3 Procesos biológicos**

Los objetivos del tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. En el caso del agua residual doméstica, el principal objetivo es la reducción de la materia orgánica presente y, en muchos casos, la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. A menudo, la eliminación de compuestos a nivel de traza que puedan resultar tóxicos, también constituye un objetivo de tratamiento importante.

## MARCO TEÓRICO

Los tratamientos biológicos constituyen una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre las que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de componentes indeseables del agua, aprovechando la actividad metabólica de los mismos sobre esos componentes. La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes (N y P). Es uno de los tratamientos más habituales, no sólo en el caso de aguas residuales urbanas, sino en buena parte de las aguas industriales.

La principal aplicación de este proceso es la eliminación de la materia orgánica carbonosa del agua residual, normalmente medida como DBO, COT o DQO, nitrificación, desnitrificación, eliminación de fósforos y estabilización de lodos. Metcalf & Eddy, (1972)

Existen diferentes procesos para los cuales se pueden conformar distintas posibilidades de tratamiento, a continuación se presentan estos procesos:

### **2.10.3.1 Procesos aerobios**

Según Castellano, K. y De Santis, C. (2008). Son procesos de tratamiento biológico que ocurren en la presencia de oxígeno. El proceso aerobio se caracteriza porque la descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo en una masa de agua que contiene oxígeno disuelto.

En este proceso, en el que participan bacterias aerobias o facultativas, se originan compuestos inorgánicos que sirven de nutrientes, las cuales a su vez producen más oxígeno que facilita la actividad de las bacterias aerobias. Existe pues una simbiosis entre las bacterias y el medio que facilita la estabilización aerobia de la materia orgánica. El desdoblamiento de la materia orgánica se lleva a cabo con intervención de enzimas producidas por las bacterias en sus procesos vitales.

A través de estos procesos bioquímicos en presencia de oxígeno disuelto las bacterias logran el desdoblamiento aerobio de la materia orgánica. El oxígeno consumido es parte de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

## MARCO TEÓRICO

### **2.10.3.2 Procesos anaerobios**

Son procesos de tratamiento biológico que ocurren en la ausencia de oxígeno. Las condiciones anaerobias se establecen cuando el consumo de oxígeno disuelto es mayor que la incorporación del mismo a la masa de agua y por el oxígeno disuelto, donde el medio se torna de color gris oscuro. El desdoblamiento de la materia orgánica sucede en una forma más lenta y se generan malos olores por la producción de sulfuro de hidrógeno.

### **2.10.3.3 Procesos facultativos**

Es la combinación de los procesos aerobios y anaerobios, es decir, el tratamiento puede ocurrir tanto en presencia como en ausencia de oxígeno. La zona superficial en un proceso facultativo es aeróbica y la zona sub-superficial es anaeróbica.

### **2.10.4 Procesos anóxicos**

Desnitrificación con cultivo en suspensión, y la desnitrificación de película fija. Se denominan así los sistemas en los que la ausencia de  $O^2$  y la presencia de  $NO^{3-}$  hacen que este último elemento sea el aceptor de electrones, transformándose, entre otros, en  $N^2$ , elemento completamente inerte. Por tanto es posible, en ciertas condiciones, conseguir una eliminación biológica de nitratos

## **2.11 Sistemas de Tratamiento Más Comunes y su Diseño**

Como se explicó anteriormente, la combinación entre las operaciones físicas, los procesos químicos y procesos biológicos, conllevan a la eliminación de contaminantes así como, la remoción de las partículas en suspensión y materia orgánica, conjuntamente con la desinfección.

A continuación, se presentan algunos componentes o procesos que se pueden emplear en conjunto a la hora de diseñar un sistema de depuración de aguas servidas.

### ***2.11.1 Sedimentación***

Consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales.

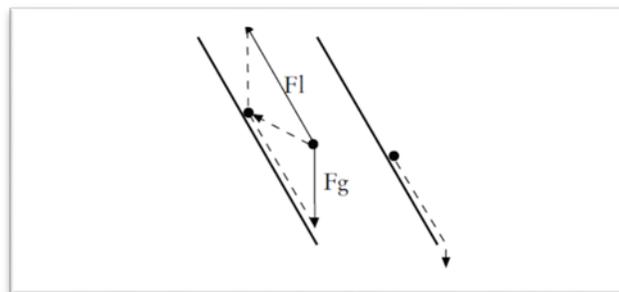
Esta operación se emplea para la eliminación de arenas, de la materia en suspensión en flóculo biológico en los decantadores secundarios de los procesos de fango activado, tanques de decantación primaria, de los flóculos químicos cuando se emplea la coagulación química, y para la concentración de sólidos en los espesadores de fango. En la mayoría de los casos, el objetivo principal es la obtención de un efluente clarificado, pero también es necesario producir un fango cuya concentración de sólidos permita su fácil tratamiento y manejo. Metcalf & Eddy, (1972).

#### **2.11.1.1 Sedimentadores de placas inclinadas**

En la decantación laminar se utilizan varias placas paralelas inclinadas para conseguir la máxima superficie de decantación en cualquier espacio disponible. De este modo, es posible reducir al mínimo el tamaño y el coste del decantador por gravedad mediante el acercamiento de los requisitos de clarificación y espesamiento.

Las partículas situadas entre las placas llegan a la superficie de cada placa siguiendo el vector resultante de las dos fuerzas:

- El arrastre del fluido ( $F_l$ ) y la gravedad ( $F_g$ ). (ver figura 1.)



***Figura 1. Decantación de partículas en sedimentadores de placas inclinadas***

**Fuente:** (Sedimentadores de placas inclinadas “Metso Corporation, [www.metsominerals.com](http://www.metsominerals.com)”)

## MARCO TEÓRICO

- Una vez sobre las placas, las partículas descienden resbalando para ser evacuadas en la zona de lodos.
- El ángulo de inclinación debe seleccionarse en  $40^\circ$  y  $60^\circ$  para garantizar que las partículas sedimentables deslicen por su propio peso; un ángulo mayor a  $60^\circ$  disminuirá la eficiencia y un ángulo menor a  $40^\circ$  hará dificultoso el deslizamiento de las partículas.

### **2.11.2 Rata hidráulica de los biofiltros**

Los biofiltros generalmente empleados en el tratamiento de aguas residuales son los siguientes:

- **Biofiltros de baja rata hidráulica:** son aparatos relativamente simples, que trabajan con cargas hidráulicas relativamente bajas que producen un efluente de calidad consistente. En la mayoría de los biofiltros de baja rata sólo la parte superior (0,6 m a 1,2 m) del medio filtrante poseerá una película biológica. Como resultado, las partes más bajas del lecho pueden ser pobladas por bacterias autotróficas nitrificantes que oxidan el nitrógeno del amoníaco en forma de nitrito y nitrato. Si la población nitrificante se encuentra bien establecida y si las condiciones climáticas y las condiciones de las aguas servidas son favorables, un biofiltro de baja rata bien operado, puede proveer una buena remoción de DBO y un efluente altamente nitrificado.

- **Biofiltros de intermedia a alta rata hidráulica:** son biofiltros donde la recirculación del efluente o efluente final permite cargas orgánicas más altas. Son diseñados para cargas sustancialmente superiores a las que reciben los biofiltros de baja rata.

- **Filtros de muy alta rata hidráulica:** son biofiltros que operan con cargas orgánicas e hidráulicas altas. La mayor diferencia entre los filtros de alta y los de muy alta rata, es que éstos últimos presentan mayores cargas hidráulicas y filtros con más profundidad, la recirculación del efluente de los filtros permite al filtro de alta rata lograr eficiencias en la remoción similares al biofiltro de baja o intermedia rata.

## MARCO TEÓRICO

La magnitud de la carga hidráulica está vinculada con el tipo de biofiltro de lecho fijo. Para mejor ilustración se muestra en la tabla 7 los valores de carga hidráulica y su respectivo rango para determinar si el tipo de biofiltro de lecho fijo en estudio es de baja, media o alta rata. Castellano, K. y De Santis, C. (2008).

*Tabla 7. Carga hidráulica y orgánica para biofiltros de baja y alta rata.*

	<b>Filtros de Baja Rata</b>	<b>Filtros de Alta Rata</b>
<b>Carga Hidráulica (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día).</b>	1-4	8-40
<b>Carga Orgánica Kg DBO/m<sup>3</sup>día</b>	0.08-0.40	0.40-4.80

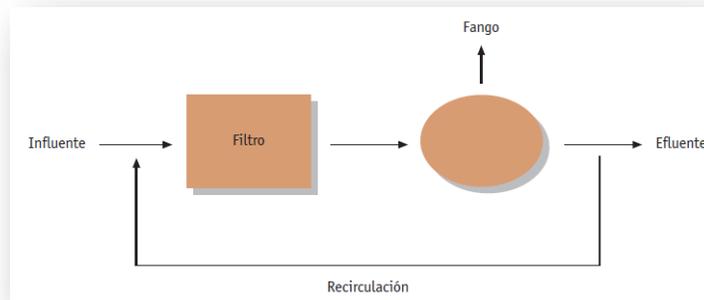
**Fuente:** Tomado de TEG de "Castellano, K. y De Santis, C. (2008).

### **2.11.2.1 Biofiltro de lecho fijo**

También denominados filtros biológicos o lechos bacterianos. Son los sistemas aerobios de biomasa inmovilizada más extendidos en la industria. Suelen ser lechos fijos de gran diámetro, rellenos con rocas o piezas de plástico o cerámica con formas especiales para desarrollar una gran superficie que sirve como soporte para los microorganismos. Sobre la superficie crece una fina capa de biomasa, sobre la que se dispersa el agua residual a tratar, que moja en su descenso la superficie. Al mismo tiempo, ha de quedar espacio suficiente para que circule aire, que asciende de forma natural. El crecimiento de la biomasa provoca que parte de los microorganismos se desprendan de la superficie, y por lo tanto, seguirá siendo necesaria una sedimentación posterior para su separación del efluente. Metcalf & Eddy. (1972).

En la práctica, se recicla una parte del líquido recogido del efluente del tanque de sedimentación, para diluir la concentración del agua residual que entra en el sistema y para mantener la humedad de la película biológica. Un esquema sencillo se muestra en la figura 2.

**MARCO TEÓRICO**



**Figura 2. Diagrama de operación típico de un filtro percolador**

**Fuente:** Rodríguez, A., García, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., Sanz, J. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales.

La materia orgánica presente en el agua residual se degrada por la acción de la población de microorganismos adherida al medio. La materia orgánica del líquido es adsorbida en la película biológica, en cuyas capas externas (0,1 a 0,2 mm) se degrada bajo la acción de los microorganismos aerobios. Cuando los microorganismos crecen, aumenta el espesor de la película, y el oxígeno se consume antes de que pueda penetrar en todo el espesor de la película. Por lo tanto, en la proximidad de la superficie del medio, se crea un ambiente anaerobio.

**2.11.2.2 Lecho compacto**

Metcalf & Eddy. (1972)...”típicamente, un reactor de lecho compacto consiste en un tanque (reactor) en el que existe un medio al que se adhieren los microorganismos. El agua residual se introduce en el tanque por su parte inferior mediante un sistema de distribución adecuado o mediante una cámara de alimentación. El aire u oxígeno puro necesario para el proceso se introduce conjuntamente con el agua residual a tratar.”

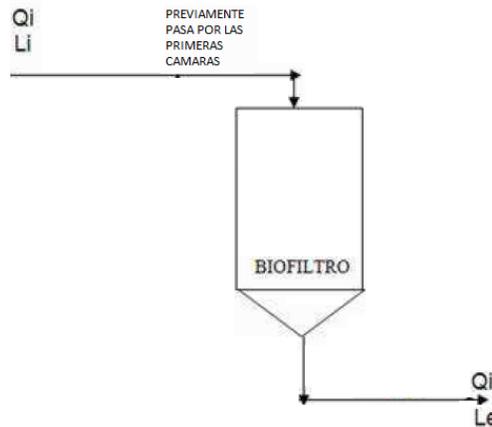
**2.11.2.3 Formulaciones para medio filtrante de material plástico. (Diseño de un biofiltro)**

Cuando se habla de carga orgánica, esta es referida al producto de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5,20</sub>) mg/l o partes por millón (ppm) de oxígeno consumido durante un período de 5 días a 20°C por el caudal medido este caso en m<sup>3</sup>/día.

**MARCO TEÓRICO**

$$L = DBO * Q \quad (5)$$

Para un sistema sin recirculación el esquema de trabajo se basa en lo siguiente:



**Figura 3. Sistema sin recirculación pero con descarga**

**Fuente:** Elaboración propia con información obtenida y adaptada de Cano, R. y Palacios, J. (2013).

Sistemas de recirculación y tratamientos de agua.

Para determinar la carga orgánica de efluente se hace uso de las siguientes ecuaciones:

$$\frac{Le}{Li} = e^{-(K_T * t)} \quad (6)$$

Donde “t” corresponde al tiempo de retención o contacto; el cual depende del área específica S (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>), del volumen del material de soporte V(m<sup>3</sup>) y del caudal Q(m<sup>3</sup>/1día). Siendo t:

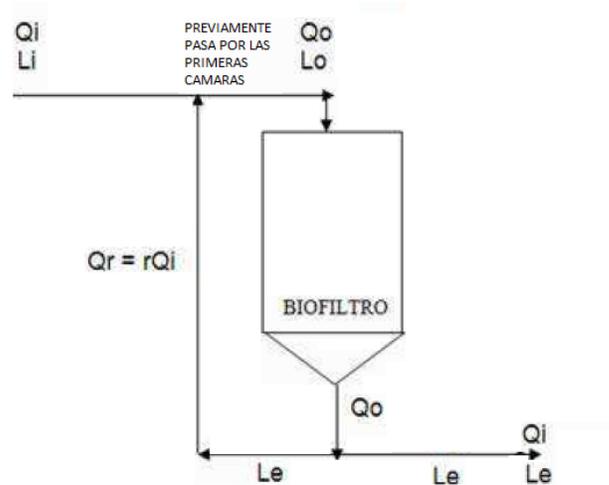
$$t = t_r = \frac{V}{Q} \quad (7)$$

Resultando la siguiente ecuación para un sistema sin recirculación. (Ecuación de Eckenfelder):

$$\frac{Le}{Li} = e^{-\left(K_T * S * D * \left(\frac{A}{Q}\right)^n\right)} \quad (8)$$

MARCO TEÓRICO

A continuación se presentan las ecuaciones y el esquema de trabajo que corresponden para un sistema con recirculación.



**Figura 4. Sistema de recirculación y descarga (Compensación de la carga)**

**Fuente:** Elaboración propia con información obtenida y adaptada de Cano, R. y Palacios, J. (2013).  
Sistemas de recirculación y tratamientos de agua.

Ahora tomando en cuenta lo mostrado en la figura 4, se puede determinar la siguiente ecuación para un sistema con recirculación:

$$Q_o = Q_i + Q_r = Q_i * (1 + r) \quad (9)$$

$$L_o = (QL_i + Q_r L_e) / (Q_i + Q_r) \quad (10)$$

Donde:

Li es la concentración de DBO<sub>5,20</sub> del agua residual que se aplica en (mg/l).

Le es la concentración de DBO<sub>5,20</sub> del efluente tratado en (mg/l).

Lo es la concentración de DBO<sub>5,20</sub> del efluente recirculado más el influente de agua residual en (mg/l).

D es la profundidad del filtro, en m.

Qi es el caudal influente aplicado al sistema en m<sup>3</sup>/día.

Qe es el caudal efluente filtrado por el sistema en m<sup>3</sup>/día

**MARCO TEÓRICO**

$Q_0$  es el caudal aplicado en  $m^3/día$ .

$A$  es el área transversal del filtro en  $m^2$ .

$S$  es la superficie específica ( $m^2/m^3$ ).

$n$  es una constante empírica. Normalmente es  $n=0,5$ .

$K_T$  ( $día^{-1}$ ) es la corrección por temperatura (Ecuación de Arrhenius) obtenida de "Wastewater Engineering", Metcalf & Eddy. (1972). La cual se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$K_T = 0,23 * (\theta)^{T-20} \quad (11)$$

Siendo  $\theta$ , según la necesidad aplicada que este caso es para los biofiltros

$$\theta = 1,035 \quad \text{para cualquier valor de } T,$$

Este valor es obtenido de la tabla de coeficientes de temperatura - actividad para diversos procesos biológicos de tratamiento. Según el libro de ingeniería de agua residuales, Metcalf & Eddy. (1972).(Capitulo 8, Página 426).

**Tabla 8. Coeficientes de temperatura – actividad para diversos procesos biológicos de tratamiento**

Proceso	Valor de $\theta$	
	Intervalo	Valor Típico
Fangos Activados	1,00-1,08	1,04
Lagunas Aireadas	1,04-1,10	1,08
Filtros Percoladores	1,02-1,08	1,035

**Fuente:** Elaboración propia con información obtenida de Metcalf & Eddy. (1972).

Entonces, la ecuación para un sistema de recirculación queda expresada de la siguiente manera:

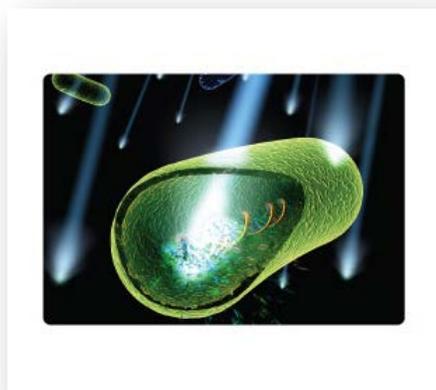
$$\frac{Le}{Lo} = e^{-\left(K_T * S * D * \left(\frac{A}{Q_0}\right)^n\right)} \quad (12)$$

MARCO TEÓRICO**2.12 Desinfección con Rayos Ultravioleta**

Cuando un microorganismo se expone a la luz ultravioleta, los núcleos de las células debido a procesos de fotólisis modifican la división celular y por lo tanto, la reproducción es interrumpida.

Las ondas cortas de la radiación ultravioleta inciden sobre el material genético (ADN) de los microorganismos y virus debilitándolos y los destruye en corto tiempo, sin producir cambios físicos o químicos notables en el agua tratada. La inactivación por luz ultravioleta se produce mediante la absorción directa de la energía ultravioleta por el microorganismo y una reacción fotoquímica intracelular resultante que cambia la estructura bioquímica de las moléculas que son esenciales para la supervivencia del microorganismo. Chacón, G. y Jiménez, J. (2009).

La desinfección por ultravioleta usa la luz como fuente encerrada en un tubo protector, de manera que cuando pasa el flujo de agua a través de la tubería, los rayos ultravioleta son emitidos y absorbida por el mecanismo reproductor de las bacterias y virus (Ver Figura 5.), el material genético (ADN/ARN) es modificado, de manera que no puedan reproducirse. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales “Desinfección con luz ultravioleta” EPA, (Septiembre, 1999).



*Figura 5. Afectación del rayo UV sobre la bacteria o virus*

**Fuente:** TROJANUV “Water Confidence” ([www.trojanuv.com/es7uv-basics](http://www.trojanuv.com/es7uv-basics))

**MARCO TEÓRICO**

**2.12.1 Desinfección (por rayos UV)**

A continuación, se presenta la tabla 9 con las ventajas y desventajas de la desinfección por rayos UV.

**Tabla 9. Desventajas y ventajas de la desinfección por rayos UV**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
La desinfección con luz UV es eficaz para la desactivación de la mayoría de los virus, esporas y quistes.	La baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos virus, esporas y quistes.
La desinfección con luz UV es más un proceso físico que una desinfección química, lo cual elimina la necesidad de generar, manejar, transportar, o almacenar productos químicos tóxicos, peligrosos o corrosivos.	Algunas veces los organismos pueden reparar o invertir los efectos destructivos de la radiación UV mediante un “mecanismo de reparación”, también conocido como foto reactivación o, en ausencia de radiación, como “reparación en oscuro”.
No existe ningún efecto residual que pueda afectar a los seres humanos o cualquier organismo acuático.	Un programa de mantenimiento preventivo es necesario para controlar la acumulación de sólidos en la parte externa de los tubos de luz.
La desinfección con luz UV es de uso fácil para los operadores.	La turbidez y los sólidos suspendidos totales (SST) en el agua residual hacen que la desinfección con luz UV sea ineficaz. El uso de la desinfección con lámparas UV de baja presión no es tan efectivo en el caso de efluentes secundarios con niveles de SST mayores a 30 mg/L.
La desinfección con luz UV tiene un período de contacto más corto en comparación con otros desinfectantes (aproximadamente de 20 a 30 segundos con la utilización de las lámparas de baja presión).	La desinfección con luz UV no es tan económica como la desinfección con cloro, pero los costos son competitivos cuando la cloración requiere de cloración y se cumple con los códigos de prevención de incendios.
El equipo de desinfección con luz UV requiere menos espacio que otros métodos.	

**Fuente:** Folleto informativo de tecnología de aguas residuales “Desinfección con luz ultravioleta” EPA, (Septiembre, 1999).

La efectividad de este método de desinfección se ve afectada cuando existe presencia de ciertas características en el agua residual como se muestra en la tabla 10. Por esta razón se debe pretratar el agua antes de utilizar este método.

**Tabla 10. Características del agua residual que afectan el desempeño de la desinfección con luz UV**

<b>Características del agua residual</b>	<b>Efectos en la desinfección con luz UV</b>
Amoníaco	De presentarse, son efectos menores.
Nitritos	De presentarse, son efectos menores.
Nitratos	De presentarse, son efectos menores.

## MARCO TEÓRICO

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	De presentarse, son efectos menores. Sin embargo, si una gran parte del DBO es un compuesto húmico y/o no saturado (o conjugado), entonces la transmisión de radiación UV podría verse reducida.
Dureza	Afecta la solubilidad de los metales que pueden absorber la radiación ultravioleta. Puede generar la precipitación de carbonatos sobre los tubos del cuarzo.
Materiales húmicos, hierro	Alta absorbancia de la radiación UV.
pH	Afecta la solubilidad de los metales y los carbonatos.
SST	Absorbe la radiación UV y protege a las bacterias incorporadas en los sólidos.

**Fuente:** Folleto informativo de tecnología de aguas residuales “Desinfección con luz ultravioleta” EPA, (Septiembre, 1999).

### 2.13 Cálculo de la Eficiencia en la Remoción de Contaminantes

Viene dada por la relación que existe entre la carga del afluente y la carga reducida después del tratamiento:

$$E = \frac{L_{afluente} - L_{efluente}}{L_{afluente}} * 100 \% \quad (13)$$

De esta manera se podrá determinar la eficiencia de remoción de carga contaminante en los tratamientos existentes.

### 2.14 Selección y Propuesta de una Combinación de Procesos y Operaciones con Carácter Sustentable en Plantas Compactas

Las plantas compactas se pueden usar en conjuntos de viviendas, instalaciones de uso público y zonas rurales, con el beneficio de bajos costos de operación y mantenimiento siempre y cuando no se haga uso de aditivos químicos.

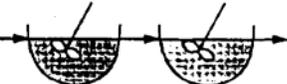
El costo asociado de energía por bombeo se puede disminuir mediante las posibles soluciones sustentables mediante el uso de energías renovables, como la eólica, la solar, la hidráulica, la geotécnica entre otras.

**MARCO TEÓRICO**

**2.14.1 Tipos de reactores**

Los recipientes, tanques y depósitos en los que tienen lugar las reacciones químicas y biológicas suelen recibir el nombre de reactores. Los principales tipos de reactores empleados en el tratamiento de las aguas residuales son: reactor de flujo discontinuo (Tipo Batch), reactor de flujo en pistón, reactor de mezcla completa, reactores de mezcla completa conectados en serie, reactor de flujo arbitrario o aleatorio y reactor de lecho fluidificado. Metcalf & Eddy. (1972).

**Tabla 11. Principales tipos de reactores empleados en el tratamiento del agua residual**

Tipo de Reactor	Esquema de Identificación	Descripción y/o aplicación
flujo discontinuo (Tipo Batch)		El flujo no entra ni sale del reactor. El contenido del líquido está completamente mezclado.
Flujo en pistón, también conocido como flujo tubular		Las partículas del fluido pasan a través del tanque y salen con la misma secuencia con la que entran. Las partículas conservan su identidad y permanecen en el interior del tanque por un tiempo igual al tiempo teórico de detención. Este tipo de flujo puede aproximarse al que se produce en un tanque de gran longitud con una relación longitud/anchura elevada, en el cual la dispersión longitudinal es mínima o nula.
Reactores de mezcla completa, o tanque agitado de flujo continuo		La mezcla completa se produce cuando las partículas que entran en el tanque se dispersan de manera inmediata por todo el volumen del mismo. Las partículas salen del tanque en proporción a su población estadística. La mezcla completa se puede obtener en tanques circulares o cuadrados si el contenido del tanque se distribuye uniforme y continuamente.
Reactores de mezcla completa en serie		Los reactores de mezcla completa conectados en serie se emplean para modelar el régimen de flujo que corresponde al paso intermedio entre el régimen correspondiente al reactor de flujo en pistón y el correspondiente a un reactor de mezcla completa. Si la serie está formada por un solo reactor, prevalece el régimen de mezcla completa, mientras que si la serie consta de infinitos reactores, prevalece el régimen de flujo en pistón

**MARCO TEÓRICO**

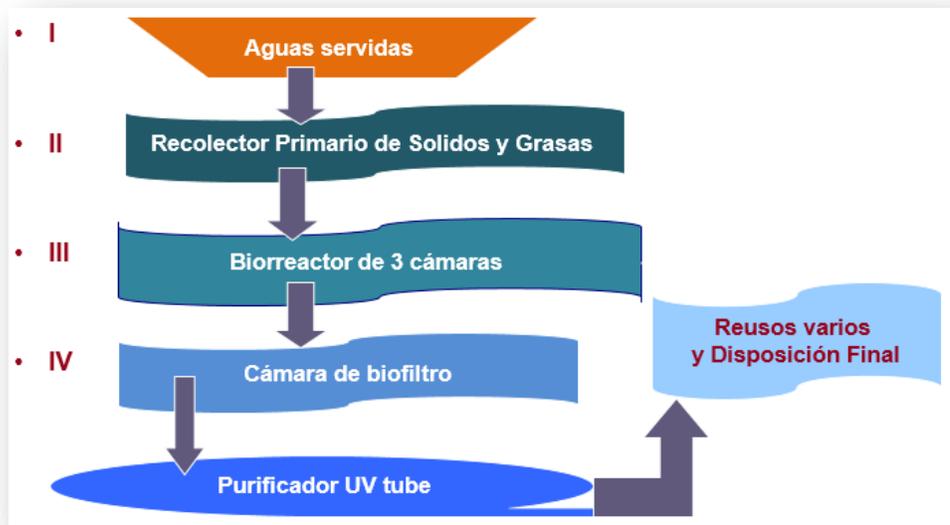
<p>Lecho fluidificado</p>		<p>El reactor de lecho fluidificado es similar al reactor de lecho fijo (Filtro Percolador) en muchos aspectos, pero el medio se expande por el movimiento ascendente del fluido (aire o agua) a través del lecho. La porosidad del medio se puede variar controlando el caudal del filtro.</p>
---------------------------	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Fuente:** Elaboración propia adaptado con información obtenida de Metcalf & Eddy. (1972).

**2.14.2 Propuesta del (RBS) Reactor Bio-Sanitario**

El RBS, reactor bio-sanitario, es una unidad compacta propuesta con el interés encontrar técnicas y metodologías alternativas y sustentables para lograr el reuso de las aguas servidas de forma segura.

El RBS utiliza una metodología sencilla y usual como en todas las plantas de tratamiento del planeta: se tratan y remueven contaminantes para producir agua limpia y reutilizable. Está combina en primer lugar la sedimentación primaria en dos fases, a continuación la biofiltración y finalmente la desinfección por rayos ultravioleta.



**Figura 6. Esquema del Reactor Bio-Sanitario. (RBS)**

**Fuente:** Elaboración propia con información de proyecto ajustado al Artículo 42° de la LOCTI. Propuesta del departamento de Ingeniería Sanitaria Ambiental. ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL. FACULTAD DE INGENIERÍA. UCAB. Caracas.

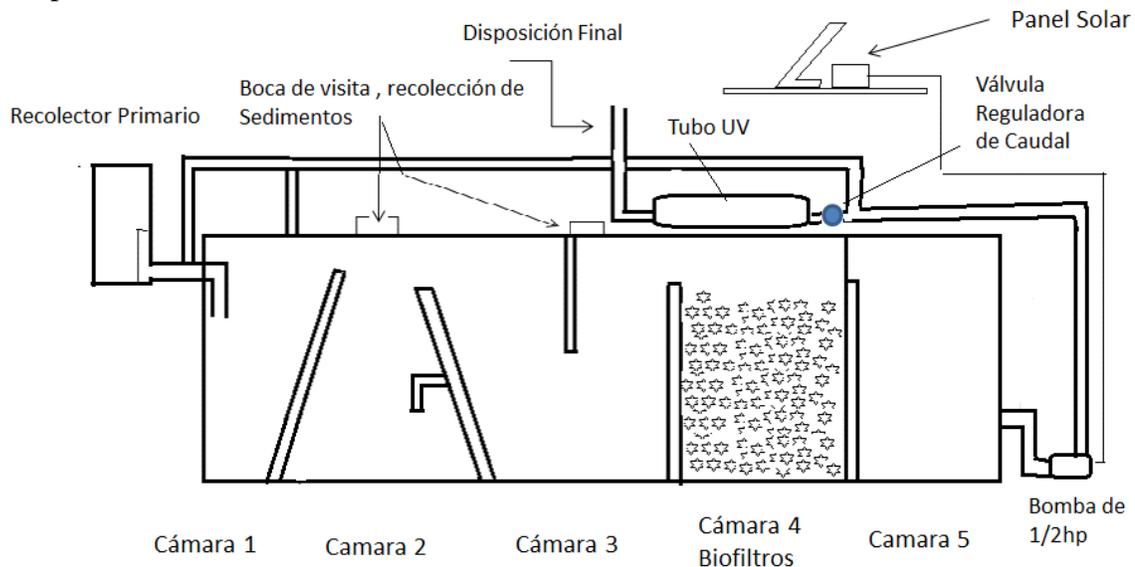
## MARCO TEÓRICO

La combinación de estos tres elementos evita la utilización de aditivos químicos que son de alto costo y generan efectos de degradación al ambiente, el consumo de energía se minimiza debido a que puede manejarse el flujo entre los elementos por gravedad y el uso de bombeo queda reducido. Además no es necesaria la presencia continua de un operador y el mantenimiento periódico es mínimo.

La sedimentación cumple un papel importante en la remoción de la carga orgánica, disminuyendo la cantidad de los sólidos en suspensión y la DBO<sub>5,20</sub>, sin embargo, esta operación es necesaria más no suficiente, por lo que se le añade el biofiltro para garantizar la remoción de la carga orgánica a los niveles deseados. En términos de carga microbiológica la desinfección con el tubo de rayos ultravioleta asegura la reducción de los agentes patógenos a niveles no infecciosos.

Estos motivos son los que hacen a la RBS una unidad de carácter sustentable debido a que es capaz de mantenerse por sí misma una vez que este instalada para su funcionamiento.

A continuación se muestra un modelo aproximado a lo que puede asemejarse un prototipo del RBS:



**Figura 7. Prototipo aproximado del Reactor Bio-Sanitario. (RBS).**

**Fuente:** Elaboración propia.

## MARCO TEÓRICO

Para llevar a cabo la construcción de una modelo final con materiales que faciliten la visualización del comportamiento interno del reactor durante el proceso se requiere evaluación hidráulica previa y para ello se propone la construcción de un tanque en madera que facilite las modificaciones para poder llevar a cabo la construcción del modelo un modelo definitivo.

### **2.15 Marco Legal Internacional.**

Se ha destacado en diversas conferencias mundiales el riesgo existente por la cantidad de vertidos no tratados que son descargados en los mares y en los cuerpos de agua en todo el mundo. Los objetivos de desarrollo del milenio (ODM) son el resultado de la cumbre del milenio, celebrada en Nueva York entre el 6 y 8 de septiembre del año 2000. En esta reunión participaron representantes de 189 países miembros, incluyendo 147 jefes de estado y de gobierno. Organización Mundial de la salud. (2007).

Tras definir la necesidad de establecer “la responsabilidad colectiva de respetar y defender los principios de la dignidad humana, la igualdad y la equidad en el plano mundial”, así como de trabajar por mantener la paz, según dicta la declaración del milenio, los asistentes fijaron objetivos generales sobre los temas de pobreza, el hambre, educación, ambiente, equidad de género y salud, que sirvieron como soporte para la elaboración de los ODM, los cuales están compuestos por ocho objetivos, 18 metas y 48 indicadores, que fueron redactados de manera general para poder ser adaptados a la realidad de los diferentes países, y que buscan mejorar las condiciones sociales de la población mundial.

La siguiente información fue levantada del último informe mundial de monitoreo y seguimiento de la meta 10 de los ODM 7 por el programa conjunto de monitoreo del abastecimiento de agua y saneamiento JMP (Joint Monitoring Programme, programa de monitoreo conjunto), OPS/OMS-UNICEF (Sep. /2006) con datos del 2004. Organización Mundial de la salud. (2007).

El objetivo 7 tiene como finalidad garantizar la sostenibilidad del medio ambiente, donde la meta número 10 (7C) del ODM 7 se define como: Reducir a la mitad, para el año 2015, el

## MARCO TEÓRICO

porcentaje de personas que carezcan de acceso sostenible a agua de bebida segura y saneamiento.

Los indicadores de la meta utilizados por el JMP, que miden acceso o cobertura, son:

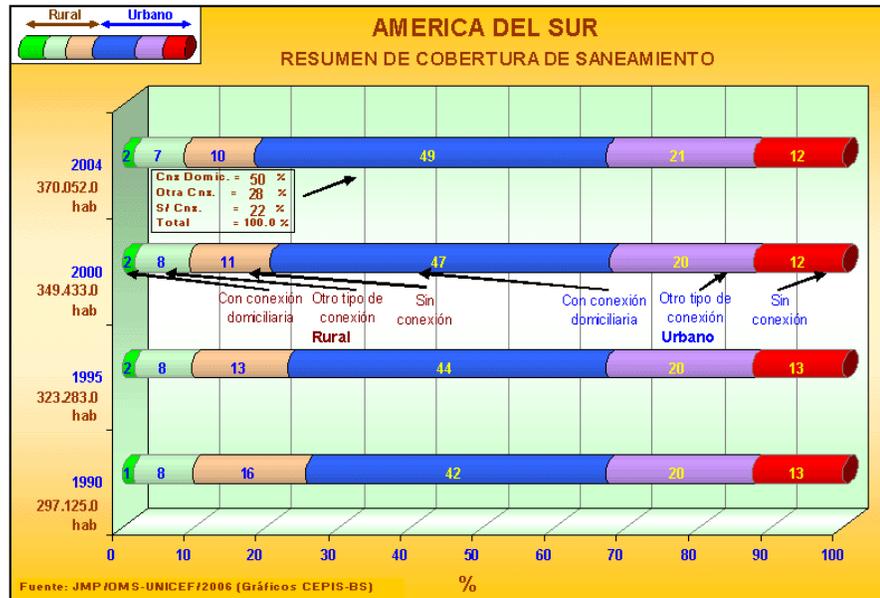
- Porcentaje de la población (urbana y rural) que utiliza fuentes mejoradas de agua potable.
- Porcentaje de la población (urbana y rural) que utiliza instalaciones mejoradas de saneamiento.

Se resalta que la información registrada por el JMP mide, a través de encuestas de hogares, los indicadores establecidos para la meta 10, pero no la meta en sí misma. Con los instrumentos de monitoreo en las encuestas de hogares no es posible medir o evaluar indicadores de sustentabilidad, los otros indicadores de calidad de servicio de suministro de agua (calidad, cantidad, continuidad y costo) o del servicio de saneamiento entregados a la población. Para apuntar a monitorear la “meta 10” más precisamente, los países deben buscar mejorar los indicadores de “calidad de servicio” que podrían mostrar el verdadero avance en el cumplimiento de esta meta, de manera a posibilitar un acceso sustentable al agua de bebida segura y al saneamiento.

### **2.16 Evaluación del Cumplimiento de los ODM en América del Sur y Venezuela**

Se muestran a continuación los resultados del cumplimiento de los ODM en América del Sur. Los datos utilizados en las siguientes gráficas representan una actualización de la información sobre cobertura en agua potable y saneamiento presentada en la publicación reciente de “datos básicos de salud de las Américas” (OPS/2006) y está basada en datos del JMP (2006) relacionados con información al 2004. Organización Mundial de la salud. (2007).

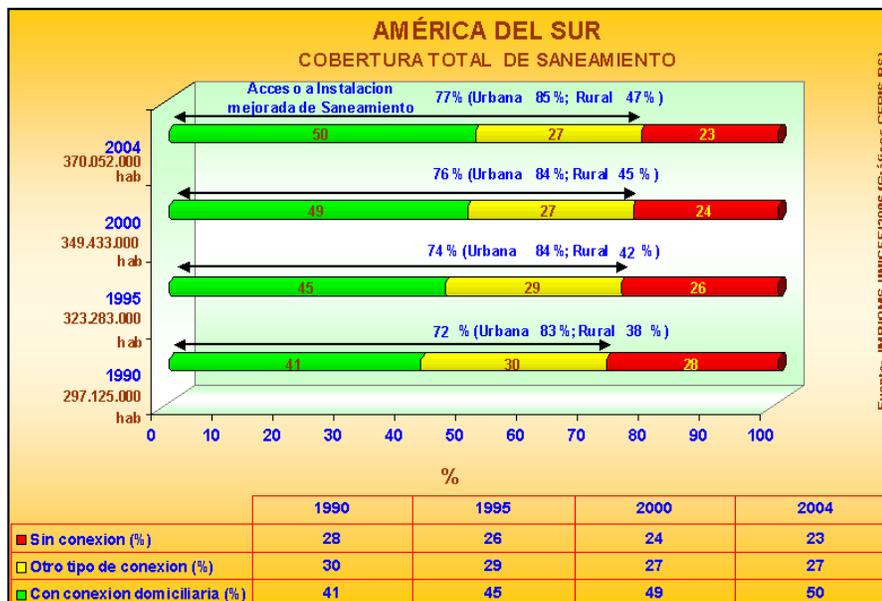
**MARCO TEÓRICO**



*Figura 8. Resumen de cobertura de Saneamiento (América del sur)*

**Fuente:** Obtenida de Organización Mundial de la salud. (2007).

<http://www.bvsde.paho.org/AyS2004/paises/venezuela/saneamresumen.html>



*Figura 9. Cobertura total de Saneamiento (América del sur)*

**Fuente:** Obtenida de Organización Mundial de la salud. (2007).

<http://www.bvsde.paho.org/AyS2004/paises/venezuela/saneamttotal.html>

**MARCO TEÓRICO**

En las siguientes graficas se muestra los resultados del cumplimiento de los ODM en Venezuela.

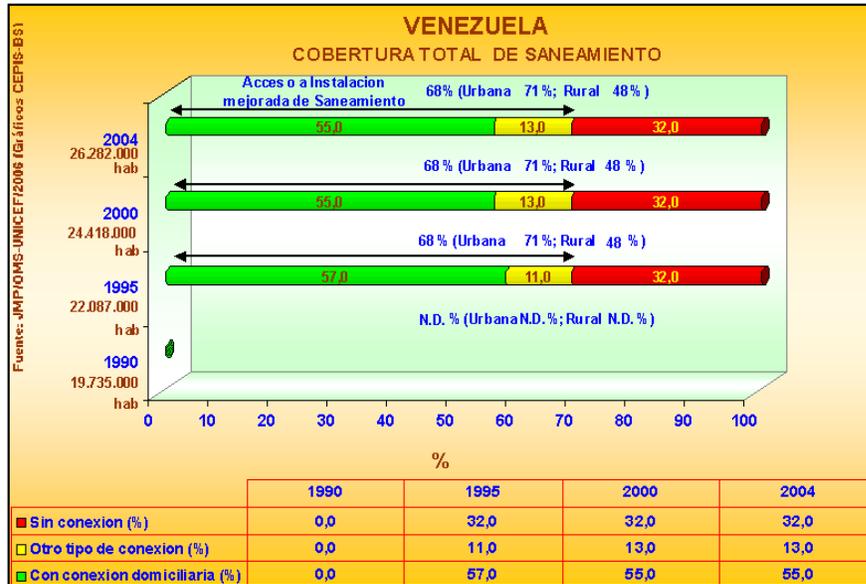


Figura 10. Cobertura total de Saneamiento (Venezuela)

Fuente: Obtenida de Organización Mundial de la salud. (2007).

<http://www.bvsde.paho.org/AyS2004/paises/venezuela/saneamttotal.html>

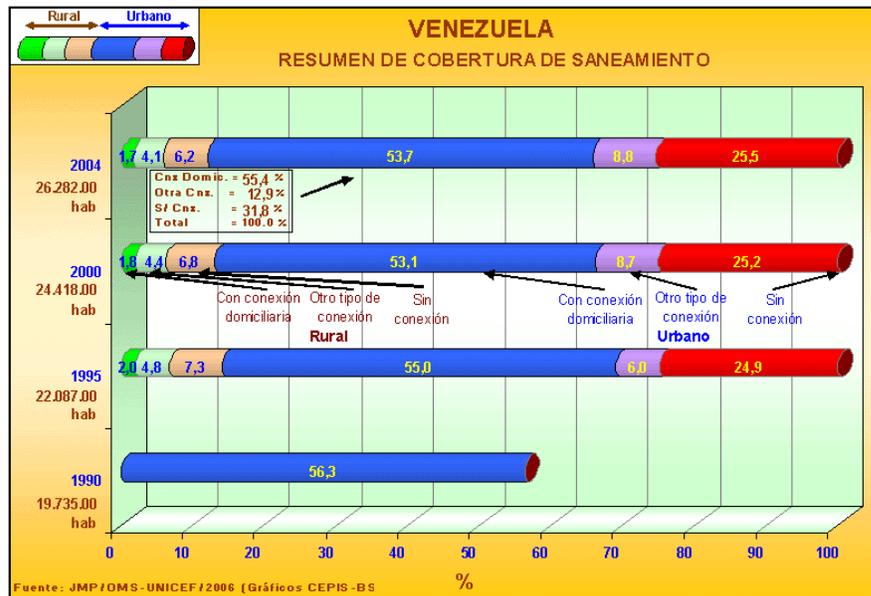


Figura 11. Resumen de cobertura de Saneamiento (Venezuela)

Fuente: Obtenida de Organización Mundial de la salud. (2007).

<http://www.bvsde.paho.org/AyS2004/paises/venezue0.0251a/saneamresumen.html>

## MARCO TEÓRICO

Se puede observar en las gráficas anteriores que en Venezuela aproximadamente el 32% de las viviendas no tienen servicio de captación de aguas servidas y que Venezuela desde el año 1995 no ha aumentado el porcentaje de conexiones domiciliarias y se ha atrasado en el cumplimiento de los ODM. Al enfocarse en el porcentaje de la depuración de estas aguas no se obtienen información específica, lo cual se podría suponer que este porcentaje sería igual o menor a los porcentajes obtenidos en viviendas sin captación de aguas servidas.

### **2.16.1 Información estadística nacional**

La única información estadística confiable es la del instituto nacional de estadística en su censo del año 2011, indicado en la figura 12 y 13. INE. “Instituto nacional de estadística” tabulaciones básicas. Condición de ocupación.

Aunque en las tablas que se muestran a continuación no hacen mención a instalaciones escolares, sólo sirve para tomar referencia de cómo es manejado el tema del abastecimiento de agua potable y la recolección de excretas en aquellas zonas donde la población rural es la que se ve más afectada.

Por eso es importante destacar la necesidad de favorecer aquellas zonas donde la necesidad es mayor y por ende contar con un sistema que permita la reutilización de las aguas servidas, no sólo en las instalaciones escolares, sino también en una vivienda o edificio de uso público.

**Tipo de vivienda familiar Abastecimiento de agua**

	Acueducto o tubería	Camión cisterna	Pila pública	Pozo con tubería o bomba	Pozo o manantial protegido	Aljibes o jagüeyes	Rio,caño, quebrada	Lago, laguna	Otros medios	Total
Quinta o Casa Quinta	322351	6913	914	11479	1658	285	507	150	748	345005
Casa	4364351	238948	31062	282473	48344	19142	43808	7483	48260	5083871
Apartamento en Edificio, quinta, casa quinta o casa	843379	5994	1758	20381	980	141	256	59	1414	874362
Casa de vecindad	152	2	4	3	-	1	-	-	1	163
Rancho	368585	77323	10419	61017	16602	8874	28067	5389	38379	614655
Indígena	326	159	45	286	459	1156	8776	120	585	11912
<b>Total</b>	<b>5899144</b>	<b>329339</b>	<b>44202</b>	<b>375639</b>	<b>68043</b>	<b>29599</b>	<b>81414</b>	<b>13201</b>	<b>89387</b>	<b>6929968</b>
<b>NSA :</b>	<b>1286475</b>									

Fuente: Instituto Nacional de Estadística(INE), Censo 2011  
Procesado con Redatam+SP  
CEPAL/CELADE 2003-2013

**Figura 12. Abastecimiento de agua en Venezuela según censo de 2011. INE. “Instituto nacional de estadística” tabulaciones básicas. Condición de ocupación**

**MARCO TEÓRICO**

**Tipo de vivienda fam Eliminación de excretas**

	Poceta conectada a cloaca	Poceta conectada a pozo séptico	Poceta sin conexión a cloaca o a pozo séptico	Excusado de hoyo o letrina	No tiene poceta o excusado	Total
Quinta o Casa Quinta	307632	36458	915	-	-	345005
Casa	3524640	1243306	66718	56080	193127	5083871
Apartamento en Edificio, quinta, casa	861211	12906	245	-	-	874362
Casa de vecindad	150	10	3	-	-	163
Rancho	131321	232891	20018	39390	191035	614655
Indígena	-	189	18	869	10836	11912
<b>Total</b>	<b>4824954</b>	<b>1525760</b>	<b>87917</b>	<b>96339</b>	<b>394998</b>	<b>6929968</b>
<b>NSA :</b>	<b>1286475</b>					

Fuente: Instituto Nacional de Estadística(INE), Censo 2011  
 Procesado con Redatam+SP  
 CEPAL/CELADE 2003-2013

*Figura 13. Eliminación de excretas en Venezuela según censo de 2011. INE. “Instituto nacional de estadística” tabulaciones básicas. Condición de ocupación*

Estos indicadores ratifican lo dicho en el punto 2.15.

**2.17 Marco Legal Venezolano Actual.**

El aspecto legal a nivel nacional se rige en primer lugar por la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, luego aplica la Ley Orgánica del Ambiente, Gaceta Oficial N° 5.833 del 22 de diciembre del 2006, la Ley de Aguas, Gaceta Oficial N° 38.595 del 2 de enero de 2007, Ley Penal del Ambiente del Gaceta Oficial N° 4.358 del 3 de enero de 1992. Las actividades respecto al agua están reglamentadas en el Decreto N° 883 del 11 de octubre de 1995 (en revisión actual) que establece las características y la calidad de los cuerpos de agua y vertidos líquidos.

A continuación se especifican los artículos de las leyes anteriormente mencionadas que serán de interés para este TEG:

- **Constitución de la República Bolivariana de Venezuela:** (ver anexo A)
  - Capítulo IX, de los Derechos Ambientales:
    - Artículo 127.
    - Artículo 128.
    - Artículo 129.

## MARCO TEÓRICO

- **Ley Orgánica del Ambiente:** (ver anexo B)
  - Título IV, De la Educación Ambiental y la Participación Ciudadana:
    - Capítulo I, Artículo 34.
    - Capítulo II, Artículo 42.
  - Título V, De los Recursos Naturales y la Diversidad Biológica:
    - Capítulo III: Artículo 50, Artículo 55, Artículo 57, aspecto N° 3 y Artículo 63, aspecto N° 1.
  
- **Ley de Aguas:** (ver anexo C)
  - Título II, de la Conservación y aprovechamiento Sustentable de las Aguas:
    - Capítulo I, Artículo 10.
    - Capítulo II, Artículo 11, criterios 2 y 3.
    - Capítulo III, Artículo 12, criterio 4. y Artículo 13.
  - Título VIII, de las infracciones y Sanciones Administrativas:
    - Capítulo II, Artículo 124. Actividades 2,5 y 6.
  
- **Decreto 883:** (ver anexo D)
  - Capítulo II, De la Clasificación de las Aguas:
    - Artículo 3°, clasificación tipo 1, sub tipo 1B.
    - Artículo 4°.
  - Capítulo III, Del Control de los Vertidos Líquidos:
    - Sección II, Artículo 9°, Grupo I.
    - Sección III, Artículo 10. Sección VI, Artículo 16.
- **“Gaceta Oficial N° 4044-1988, Norma Sanitaria”** (ver tabla N° 3)
  - Capítulo VII de las dotaciones de agua para las edificaciones:
    - Artículo 110°, sub índice B.

## CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 Enfoque del Trabajo y Tipo de Investigación.

El propósito fundamental de la siguiente investigación, se basa en el desarrollo de un modelo experimental llamado Reactor Bio-Sanitario (RBS) para la depuración sustentable de aguas servidas en instalaciones escolares, el cual posee a su vez, características propias para el tratamiento integral en aguas residuales domésticas o de uso público. Por tal motivo, en este capítulo se presentan los procedimientos técnicos y metodológicos usados durante el desarrollo del trabajo.

El presente estudio se enmarca dentro de la modalidad de investigación aplicada tipo experimental y selección del diseño de investigación que se basa en un modelo ensayado con la finalidad de medir la depuración de las aguas servidas.

### 3.2 Aplicaciones del RBS.

El RBS es diseñado partiendo de la teoría de la depuración de aguas servidas en instalaciones escolares, mediante procesos físicos, químicos y biológicos integrados en un solo módulo compacto con el fin de optimizar el espacio en el cual ha de ser colocado dicho reactor; en el cual se hace una combinación de procesos comprobados por separado y demostrados en los diferentes T.E.G que le anteceden a éste (ver capítulo 2, punto 2.1 Antecedentes).

### 3.3 Ubicación del Montaje y Diseño de la Combinación Seleccionada

El sistema debe ser ubicado en el anexo del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria Ambiental (LABSAM), en el segundo piso del edificio del laboratorios, con acceso a la terraza, lo cual permite colocar el tanque almacenador y el tanque compensador principal A, fuera del edificio del laboratorio para control de gases y olores indeseables que pudieran afectar a los usuarios del edificio. (ver anexo E)

## MARCO METODOLÓGICO

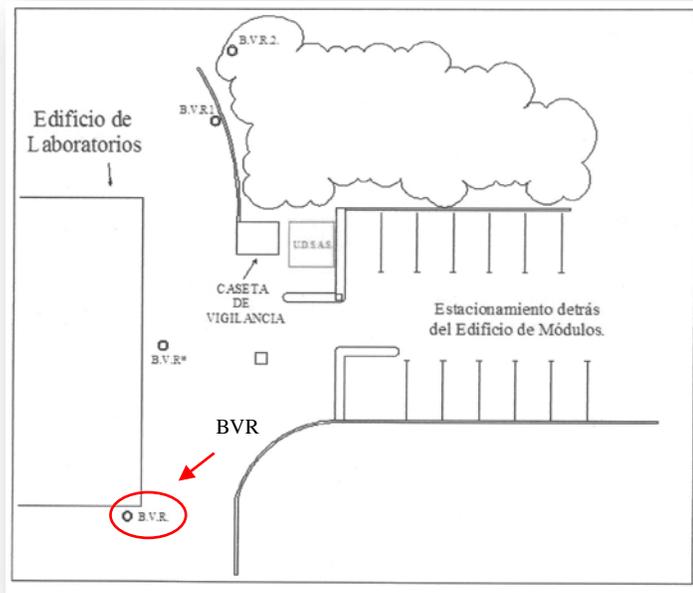
El sistema de modelación referente a una instalación escolar maneja criterios que permiten una homologación del funcionamiento típico dentro de la institución educacional. A tal efecto los criterios asumidos son:

- Se asume que el inicio de la jornada de trabajo en la institución es a las 7:30am en el turno de la mañana y luego un segundo turno desde las 12:30pm hasta las 5:00pm.
- Para esta modelación se asume una población sólo de cuatro alumnos, con un consumo diario de aproximadamente de 32 lppd.
- El funcionamiento del sistema es por bombeo y está constituido por tres bombas, dos bombas para la recirculación conectadas en paralelo con arranques intercalados de aproximadamente una hora entre sí y una bomba para mandar el agua servida desde el tanque compensador “A” hasta el tanque RBS.
- El sistema de bombas utilizará energía eléctrica.
- Criterio de producción de agua servida, mediante la utilización de temporizadores electrónicos. (ver cálculos en el punto 3.9 Caudal de Diseño y Velocidad de Entrada).

### **3.4 Selección y Ubicación del Sitio de Toma.**

El RBS propuesto exige un influente de aguas servidas análogas a las servidas domésticas - uso educacional, por esta razón se pensó primero en preparar un líquido con características similares en el laboratorio con homologación a las aguas servidas indicadas, lo cual no resulta viable por el manejo del volumen diario que será necesario para que el reactor pueda operar en condiciones análogas a las encontradas en una instalación escolar. Por esta razón se busca en el sistema de colectores del campus universitario UCAB en las adyacencias del edificio del laboratorios de ingeniería, un sitio de toma conveniente donde se puedan captar un agua que cumpla con características similares a las encontradas en una escuela, eligiéndose la boca de visita principal “BVR” por poseer un flujo constante y moderado, en el cual fluye un caudal de aguas residuales provenientes de los edificios de módulos, cafetín. La ubicación de la boca de visita BVR se muestra a continuación:

**MARCO METODOLÓGICO**



**Figura 14. Ubicación de boca de visita seleccionada BVR**

**Fuente:** Figura N° 13, Castellano, K. y De Santis, C. (2008).

**3.5 Aspectos Constructivos y Materiales a Utilizar**

Para la elaboración del RBS se hizo el estudio de cual material era más conveniente a la hora de evitar fugas propias en el tanque, donde se trabajaría directamente con aguas servidas y que a su vez cumpliera con el requisito que fuera económicamente viable, dicho material resultó ser vidrio de 8mm de espesor el cual permite a su vez trabajar con presiones internas que no afecten la integridad del tanque. Adicionalmente se reforzando con perfiles de aluminio de 1” x 1” en cada una de sus juntas, las cuales serán pegadas con silicón transparente de alta resistencia.

Igualmente las láminas utilizadas para separar las cámaras se harán en vidrio y acero galvanizado. Cabe destacar que una de las ventajas de utilizar vidrio para la construcción del tanque es que permite visualizar todo lo que ocurre dentro de él.

Los tubos que transportan el agua entre los diferentes dispositivos se colocarán en material PVC gris, los cuales serán unidos con pegamento especial para tubería de PVC y para

## MARCO METODOLÓGICO

aquellos dispositivos que ameriten ser enroscados se utilizará teflón como material sellante entre las piezas.

Los accesorios como llaves de paso y válvulas check se utilizarán en material de cobre.

Los tanques compensadores utilizados fueron donados por el LABSAM los cuales se obtuvieron de tesis anteriores.

Las bombas utilizadas para la recirculación y bombeo desde el tanque compensador “A” son de ½ Hp c/u, que a su vez fueran alimentadas por temporizadores digitales.

### **3.6 Captación de las Aguas Servidas**

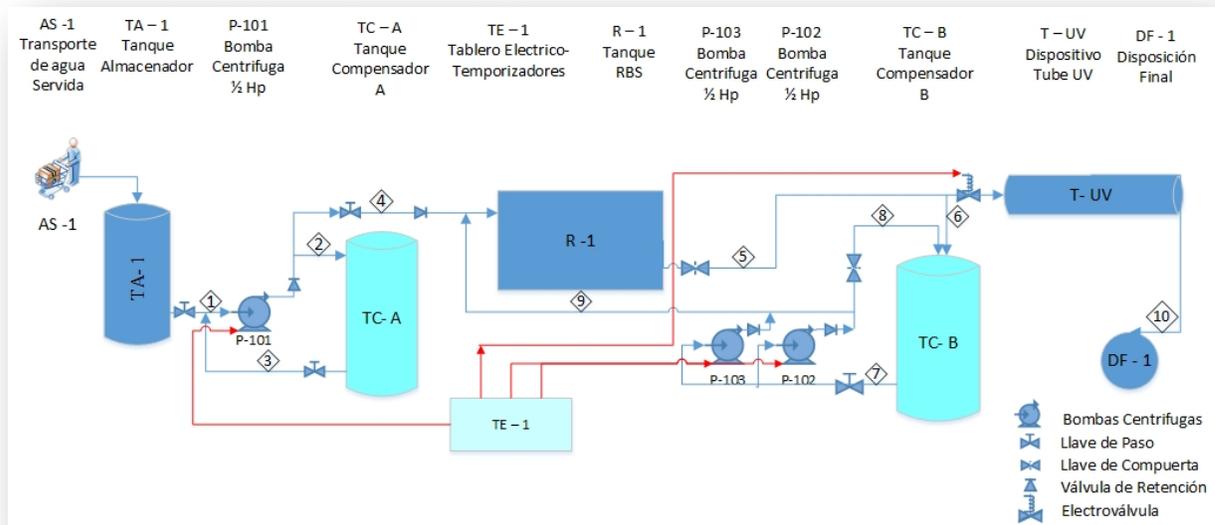
Debido a la ubicación del montaje del RBS, la recolección de agua servida se realiza mediante el uso de cinco bidones con una capacidad de 20 litros cada uno, transportados desde la boca de visita BVR hasta el lugar del montaje del sistema.

Esta recolección de aguas servidas se debe realizar diariamente, trasladando la cantidad de litros necesarios para que el reactor cumpla su ciclo diario previamente programado. Esta agua recolectada es llevada a un tanque almacenador para luego ser utilizada por el tanque compensador principal A, después del proceso de presedimentación. (ver anexo O).

### **3.7 Planteamiento de Funcionamiento del Sistema**

El sistema está comprendido por 8 componentes principales para los cuales, se explicará brevemente su funcionamiento y/o para qué sirve dentro del sistema según su orden de desarrollo

## MARCO METODOLÓGICO



**Figura 15. Diagrama de flujo del sistema RBS**

**Fuente:** Elaboración propia.

- 1- Tanque almacenador (TA-1): retener el agua transportada (AS-1) desde la boca de visita y a su vez retener sedimentos de gran tamaño (Desbaste).
- 2- Tanque compensador A (TC-A): permite simular el uso horario previsto para la modelación del sistema RBS; es decir, permite enviar agua servida de forma controlada mediante el uso de un temporizador que controla el encendido de la bomba (P-101); el agua pasa por la tubería ① y ②.
- 3- Bombeo y sistema de recirculación: el sistema está comprendido por tres bombas:
  - Bomba (P-101): transporta el agua del tanque almacenador (TA-1) hasta el tanque compensador “A” (TC-A) y a su vez transporta agua al tanque RBS (R-1) por la tubería ④ desde el tanque compensador “A” (TC-A) haciendo recircular el exceso de caudal retornando por la tubería ②.

### MARCO METODOLÓGICO

- Bomba (P-102) y (P-103): trabajan en paralelo desde la tubería ⑦ y sirven para recircular agua desde el tanque compensador B (TC-B) hasta el tanque RBS (R-1) por la tubería ⑨ y a su vez haciendo recircular el exceso de caudal retornando por la tubería ⑧.
- 4- Tanque RBS (R-1): está conformado por tres cámaras que permiten la sedimentación y retención de carga orgánica.
- 5- Tanque compensador “B” (TC-B): permite el almacenamiento del agua que ha de ser utilizada para el sistema de recirculación, proviene de la tubería ⑤ y luego pasa la tubería ⑥.
- 6- Electroválvula: permite el paso de agua de la tubería ⑤ al tubo UV (T-UV) mediante el uso de un temporizador.
- 7- Tube-UV (T-UV): permite la adecuación final del efluente mediante la destrucción de microorganismos que puedan seguir existiendo en el agua.
- 8- Disposición final (DF-1): se procede a enviar el agua a la descarga definitiva a través de la tubería ⑩.

Además, cabe destacar entre los puntos antes mencionados, lo siguiente:

- ✓ (TE -1) tablero eléctrico donde van colocados temporizadores.
- ✓ Como se explica en el punto 3.13, la captación y traslado del agua servida hacia el Tanque almacenador (TA-1) se debe hacer mediante bidones de 20L de capacidad (AS-1).
- ✓ El encendido y apagado de la bomba (P-101) se realiza mediante un temporizador digital con programación explicada en el punto 3.11; tabla 16. Las bombas (P-102) y (P-103) trabajan en paralelo lo cual permite que las mismas puedan descansar para evitar el recalentamiento, ya que se debe mantener un flujo constante de recirculación durante 24 horas; esto se realiza

## MARCO METODOLÓGICO

mediante el uso de temporizadores programados con 10 ciclos de arranques y apagados en cada una de las bombas, ver tabla 17.

- ✓ Además la bomba (P-101) y las bombas (P-102) y (P-103) poseen instalada una tubería de retorno hacia el tanque compensador “A” y tanque compensador “B” respectivamente, con la finalidad de poder regular el flujo que descarga sin tener que forzarla, el agua de retorno que llega a cada tanque entra directamente mediante orificios realizados en la tubería que reposa dentro de cada tanque.

### **3.8 Función a Cumplir y Dimensionamiento de las Partes que Conforman el Sistema**

#### **3.8.1 *Tanque almacenador (Desbaste)***

Este tanque cumple la función de almacenar las aguas servidas a la salida de la instalación escolar; la captación directa se simula llevando el agua servida desde la toma (BVR) hasta el tanque almacenador utilizando bidones cargados manualmente. El agua se extrae mediante el uso de una cubeta.

La recolección de agua se realiza diariamente para cumplir con los requerimientos del funcionamiento del sistema. El volumen de agua manejado es alrededor de unos 126 l/día, equivalentes a seis (6) bidones, y la capacidad del tanque almacenador es de 250 lts.

Otra función que cumple este tanque es de mejorar la calidad de agua con respecto a lo que se refiere a sólidos de gran tamaño, mediante un proceso de sedimentación o desbaste que consiste en proteger al sistema de la posible llegada de grandes sólidos que puedan provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación, como lo son las válvulas y otros elementos, debido al manejo de caudales pequeños con velocidades bajas. Esta remoción se realiza con un tiempo de sedimentación de 24 horas para una máxima retención, ya que de esta manera el agua recolectada en día anterior es la que entra al tanque compensador principal A, cumpliendo las necesidades del sistema para su correcto funcionamiento.

## MARCO METODOLÓGICO

Cabe destacar que el uso de este tanque almacenador sólo es para la modelación del sistema instalado; en un diseño a escala real este tanque no sería necesario ya que la captación sería de forma directa en el tanque compensador, de esta manera se usaría un sólo tanque con la función mixta de almacenar y compensar.

### **3.8.2 *Tanque compensador principal A***

Este tanque tiene como objetivo retener el agua de entrada para que el reactor tenga una alimentación por carga o flujo discontinuo (tipo Batch), para poder cumplir con el tiempo de retención requerido en función de las dimensiones y velocidades manejadas por el sistema.

El efecto principal de este compensador es facilitar el caudal afluente requerido según la programación pre-establecida para el funcionamiento del sistema modelo RBS.

En una instalación real el tanque compensador funcionará de igual manera con un sistema de bombeo intermitente, controlado por flotadores de nivel electrónicos, así como con un regulador de flujo de entrada al mismo tanque.

### **3.8.3 *Reactor bio-sanitario (RBS)***

#### Especificaciones del diseño

El diseño del RBS se basa en una combinación de métodos más comunes de tratamientos de aguas servidas, distribuidas en 3 cámaras continuas, una cámara de sedimentación que se divide en 3 subcamaras, una de biofiltro y la última que funciona como postsedimentador; las cuales están constituidas dentro de un tanque rectangular construido en vidrio con láminas de 8mm de espesor para poder resistir la presiones internas que ejerce el agua dentro del tanque.

Este reactor a su vez contiene un lecho fluidificado. Información que se puede apreciar en la tabla 11 que indica los tipos de reactores.

Una vez verificado el flujo hidráulico en el tanque de material hecho en madera se prosigue a la construcción del modelo hecho de vidrio, este tanque que se construye en madera

**MARCO METODOLÓGICO**

sirve principalmente para verificar los niveles a de agua dentro del tanque, su comportamiento, así como la funcionalidad de los tabiques inclinados. Ver anexo P.

Las dimensiones del RBS se basan en una escala 1: 4.5 con respecto al modelo en tamaño equivalente para una población de 140 alumnos, quedando con las dimensiones siguientes:

**Tabla 12. Dimensiones del tanque de modelación**

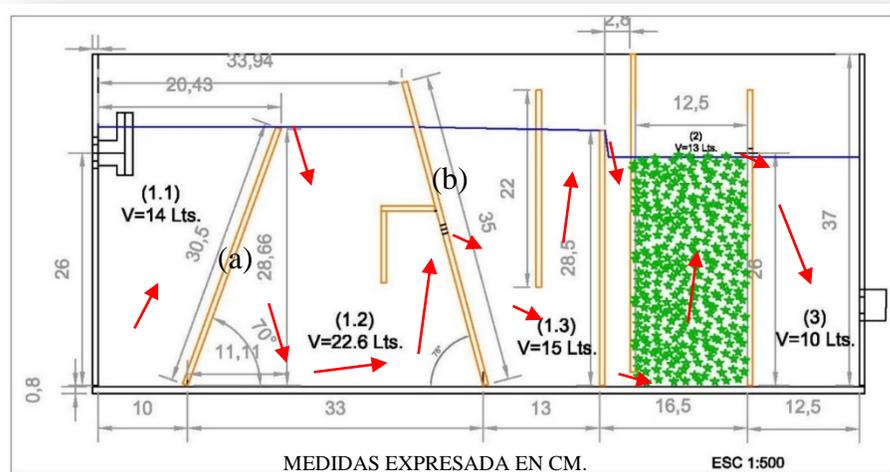
Modelo a escala		Modelo para una Población de 140 Alumnos.
Largo	0,85 m	3,80 m
Ancho	0,33 m	1,50 m
Alto	0,38 m	1,70 m
Volumen del Tanque	72 lts.	9000 lts.

**Fuente:** Elaboración propia.

Las dimensiones del modelo para una población de 140 alumnos, parte de unas medidas mínimas impuestas como requerimiento esencial para poder trabajar en lugares de poco espacio aunque no son medidas estandarizadas se consideran proporcionales al volumen manejado.

Las especificaciones de las medidas mostradas en la siguiente figura son las aplicadas al modelo construido en madera y luego en material de vidrio.

En la siguiente figura se puede apreciar de una mejor manera lo antes mencionado.



**Figura 16. Dimensionamiento propio del tanque RBS y líneas de flujo**

## MARCO METODOLÓGICO

**Fuente:** Elaboración propia.

Las características fundamentales del RBS se especifican a continuación.

### **3.8.3.1 Cámara 1: sedimentador de placas inclinadas.**

En el marco teórico se explica lo que es el funcionamiento de la decantación de partículas en Sedimentadores de placas inclinadas en el punto (2.11.1 Sedimentación). En esta ocasión se parte del principio básico de este diseño pero aplicando una variación.

Para esta modelación se quiere comprobar que la colocación de una sola lámina “(a)” a  $70^\circ$  recibiendo agua directamente y en un flujo ascendente cumple la función, el flujo luego cae a una sub-cámara mediante una lámina vertiente que ayudará a que empuje el agua en un único sentido formando líneas de corriente hacia el fondo buscando comunicarse con la siguiente sub-cámara.

Luego y por último, el flujo entra por unos orificios en la lámina “(b)” colocada de forma inversa a una inclinación de  $75^\circ$  creando de esta manera un contraflujo al momento de pasar por los orificios, para luego seguir las líneas de corriente a través de la lámina vertical.

### **3.8.3.2 Cámara 2 aeróbica: biofiltro de lecho fijo.**

Una de las ventajas de trabajar con un proceso aerobio como es el biofiltro de lecho fijo, es el rápido crecimiento de la biomasa, la cual permite que la materia orgánica presente en el agua residual se degrade por la acción de la población de microorganismos adherida al medio en forma de biopelícula.

El biofiltro utilizado en la construcción del RBS se basa en el diseño de reactores de lecho compacto:

Tomando en cuenta lo explicado antes y recalando lo dicho en marco teórico Metcalf & Eddy. (1972)...”típicamente, un reactor de lecho compacto consiste en un tanque (reactor) en el que existe un medio al que se adhieren los microorganismos. El agua residual se introduce en el tanque por su parte inferior mediante un sistema de distribución adecuado o mediante una

**MARCO METODOLÓGICO**

cámara de alimentación. El aire u oxígeno puro necesario para el proceso se introduce conjuntamente con el agua residual a tratar.”

El material de soporte utilizado es un medio plástico para la adhesión de biomasa de alta rata hidráulica en material (PEAD) que cumple con las siguientes características:

Bioesfera	Superficie Específica (S)	Nº de esferas en 1 m <sup>3</sup>
	96,21 (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	30.000

**3.8.3.3 Cámara 3: sedimentador final**

Tiene como finalidad permitir la sedimentación de sólidos en arrastre, incluyendo biomasa que se desprende del filtro percolador de la cámara anterior. También actúa como un tanque compensador dentro del reactor el cual permite regular el aumento de volumen proveniente de la suma del caudal de recirculación en conjunto con el caudal de entrada de agua servida al sistema. Lo antes mencionado va acompañado de la figura Nro. 16, en donde se puede visualizar las partes que conforman las cámaras 1 2 y 3.

**3.8.4 Aireación**

Se instalará un nebulizador a pistón que hará las veces de compresor conectado al biofiltro, Súper 2 Max, Modelo: N28-FMrca SIFAB, Fabricado por Silvestrin Fabris SRL con la finalidad de suministrarle aire y así lograr mantener las condiciones aeróbicas necesarias dentro del mismo (ver anexo Q). Cumple con las características:

- Voltaje: 110 voltios.
- Intensidad: 1,20 amperes.
- Potencia: 0.07 Kw.

El compresor (nebulizador) tiene conectado una manguera que a su vez transporta el aire hasta la salida que se encuentra justo en la malla base del biofiltro.

## MARCO METODOLÓGICO

### **3.8.5 Tanque compensador para el sistema de recirculación (B)**

La función fundamental que cumple este tanque, es la de almacenar el agua que se tiene previsto recircular nuevamente al reactor; este tanque almacenador tiene una capacidad aproximada de unos 120 litros, lo cual es apropiado para efectos de la modelación del reactor.

En el uso real de reactor, este tanque compensador estaría adosado al reactor, es decir, en la cámara 3, que cumpliría perfectamente con este proceso tomando las previsiones de la cantidad de agua que en ella se necesita almacenar para adaptar el sistema de recirculación. Ver anexo R.

### **3.8.6 Recirculación**

El sistema de recirculación cumple la función de realimentar al tanque RBS con el agua depurada diluyendo el agua servida que va ingresando, mediante un flujo continuo y constante para permitir que la materia orgánica existente en el biofiltro pueda alimentarse, mantenerse viva y estable.

Se utiliza un caudal de recirculación de 0,025 lps, que permite una velocidad aceptable para la sedimentación en la modelación del (RBS).

Este sistema permite que el volumen que entra al (RBS) de modelación en el transcurso del día, pueda recircular aproximadamente 18 veces a través del reactor durante el día (unas 10 horas) y toda la noche (unas 14 horas). Los cálculos en que se basa estos comentarios se pueden ver nuevamente en el punto 3.9 (Caudal de Diseño y Velocidad de Entrada).

### **3.8.7 Tubo UV**

Para abaratar costos y tiempo, se utilizará el tubo UV disponible en laboratorio de LABSAM de la UCAB del T.E.G realizado por Grace Daniela Chacón y Jesús Alejandro Jiménez (“*Diseño, Construcción y Evaluación de un Nuevo Esterilizador de Agua UV TUBE-UCAB para Aguas Servidas Domiciliarias Pretratadas con Caudales de hasta 15 Litros por Minutos.*”; (2009).

## MARCO METODOLÓGICO

Los caudales manejados en la modelación del RBS permiten trabajar con este tubo UV, facilitando la adaptación del mismo sin mayor inconveniente al RBS. Para conocer los detalles del tubo UV utilizado en esta modelación se pueden ver las especificaciones en el anexo S.



*Figura 17. Tubo UV utilizado*

Fuente: T.E.G realizado por Grace Daniela Chacón y Jesús Alejandro Jiménez; (2009).

### **3.8.8 Disposición final**

Para la modelación la disposición final se realiza mediante una electroválvula permite el paso de agua al tubo UV, luego de ahí se lleva directamente al sitio de disposición final.

La válvula utilizada es una válvula electromagnética que funciona con corriente 110V, de muy bajo consumo, permitiendo a efectos prácticos y mediante un timer programar la frecuencia con que el dispositivo debe permitir la descarga del agua depurada.

### **3.9 Consumo de Energía**

Se utilizan tres bombas con consumo promedio, así como otros componentes especificado en la siguiente tabla:

*Tabla 13. Consumo de energía del RBS*

Aparato	Potencia (Kw)	Tiempo de uso (h/día)	Consumo (Kwh/día)
Recirculación 1 (Pedrollo)	0,37	12	4,440
Recirculación 2 (Wequp)	0,33	12	3,960

### MARCO METODOLÓGICO

Carga 3 (Becker)	0,37	0,82	0,303
TuboUV	0,015	2,5	0,038
Compresor	0,07	12	0,84
<b>Consumo total por día</b>			<b>9,581</b>

Fuente: Elaboración propia.

Según los cálculos sobre el consumo eléctrico del sistema se obtuvieron que para un mes se consume un total de 287,43 Kw.h/mes según los cálculos mostrados en el punto, lo que demuestra que el consumo de energía el RBS es moderado según el esquema de trabajo que se utilizó.

### 3.10 Programación de la Frecuencia de la Toma de Muestras

Para iniciar con la etapa de recolección de muestras, es necesario establecer un cronograma de actividades, que permita facilitar la realización de los ensayos, el cual estará limitado por los recursos disponibles dentro del laboratorio para la realización de los mismos.

El número de muestras a tomar por cada día de ensayo se dividirá en dos turnos, los cuales se reflejan de la siguiente manera:

*Tabla 14. Tipos de muestras y horario de toma*

Turno	
<b>Mañana (Hora de toma: 7:20 AM)</b>	<b>Nombre de la Muestra</b>
(E.Cruda) muestra tomada a la entrada del tanque Almacenador0	Entrada Cruda.
(E.M) muestra tomada a la salida del tanque compensador A- Agua de entrada al tanque RBS	Entrada en la Mañana.
(S.M) muestra tomada a la salida del tanque RBS – Entrada al tubo UV.	Salida en la Mañana.
(S.M.UV) muestra tomada a la salida del tubo UV.- Agua de Disposición final.	Salida en la mañana del UV.
<b>Tarde (Hora de toma: 2:00 PM)</b>	
(S.T) muestra tomada a la salida del tanque compensador A- Agua de entrada al tanque RBS.	Salida en la Tarde.
(S.T.UV) muestra tomada a la salida del tubo UV.- Agua de Disposición final.	Salida en la Tarde de UV.

Fuente: Elaboración propia.

En total son 6 muestras diarias a las cuales se efectuaran diferentes ensayos de acuerdo a la programación establecida. Cabe destacar que las muestras que se consideran de mayor

### MARCO METODOLÓGICO

importancia son las de (E.M), (S.M) y (S.T) a las cuales se le realizarán todos los ensayos pertinentes como lo son: pH, color, turbiedad, SDT, conductividad, DBO<sub>5,20</sub>, DQO, sólidos totales, sólidos sedimentables y microbiología.

A la muestra (E.Cruda) sólo se le realizará los ensayos de color, turbiedad, sólidos totales, y sólidos sedimentables, ya que esta muestra sirve de control para poder verificar la remoción de sólidos que puedan quedar almacenados en el tanque almacenador (Desbaste), evitando así, posibles atascamientos en el sistema.

A las muestras (S.M.UV) y (S.T.UV) sólo se le realizará el ensayo de microbiología, ya que con esto se verifica la cantidad de microorganismos que pueden ser removidos luego de la salida del RBS y antes de la disposición final.

El criterio de elección de las horas de tomas de las muestras se basa acorde a las jornadas de trabajo asumidas en el punto 3.4 que habla de los criterios que permiten una homologación del funcionamiento típico dentro de la institución educacional según los criterios asumidos.

Las muestras de la mañana son tomadas antes del inicio de la jornada de trabajo para poder estudiar el comportamiento del sistema durante la noche, luego se realiza un nuevo control en horas de la tarde que sirve como referencia y control del comportamiento en el transcurso de la jornada trabajada.

#### **3.11 Ensayos a Realizar para Medición de Contaminación de las Aguas Servidas en Estudio**

El análisis del grado de contaminación se obtiene mediante la cantidad de compuestos orgánicos que se miden en términos de demanda de oxígeno (necesario para su estabilización), e inorgánicos presente en una muestra, los mismos sirven para cuantificar los rasgos distintivos de las aguas servidas domésticas-educacionales; estos se van a obtener mediante ensayos de los parámetros característicos como los son:

## MARCO METODOLÓGICO

Aspecto Físico: color, turbiedad, conductividad, sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos y sólidos sedimentables.

Aspecto Químico: pH, oxígeno disuelto (OD), DBO<sub>5,20</sub>.

### 3.12 Tipos de Análisis y Equipos a Utilizar

Los análisis seleccionados para el estudio de la efectividad de depuración del reactor en las aguas servidas en instalaciones escolares, se basan en el estudio de los valores permisibles dentro de los análisis más relevantes y de mayor importancia de las aguas residuales domésticas y de uso público, entre los cuales se tomarán en cuenta sólo los siguientes aspectos:

*Tabla 15. Tipo de análisis y procedimientos a utilizar en cada ensayo*

Análisis	Procedimiento
pH	Medición mediante el pHmetro. (ver anexo F)
Color	Determinación de color aparente mediante el uso un aparato con discos pre-calibrados de intensidades, el cual consiste en la comparación del color de la muestra con el color de estos discos previamente calibrados. (ver anexo G)
Turbiedad	Determinación mediante el turbidímetro de Hellig. Cada comparador está provisto de bulbos aforados y de los gráficos correspondientes. (ver anexo H)
Sólidos disueltos totales (SDT)	Medición mediante el potenciómetro. Medidor multiparamétrico (ver anexo I)
Conductividad	Medición mediante el potenciómetro. Medidor multiparamétrico (ver anexo I)
DBO 5,20	La prueba de la DBO tiene como base la determinación del oxígeno disuelto, OD, en la muestra aireada antes y después de incubación a una temperatura dada durante cinco (5) días. Se práctica por diluciones para líquidos residuales y en general, en aguas de diversos grados de polución. Se incuba por cinco (5) días a una temperatura de 20°C.(ver anexo J)
DQO	Provee de un medio para estimar el oxígeno equivalente a la materia orgánica en una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte. Se agrega a la muestra una cantidad determinada y medida de solución patrón de dicromato de potasio y ácido sulfúrico y se hierve convenientemente, usando reflujo, parte de la solución de dicromato se consume en proporción a la materia orgánica oxidable y el exceso se titula con sulfato ferroso amoniacal, en presencia del indicador ferroín. La cantidad de materia orgánica oxidable es proporcional al dicromato de potasio consumido. (ver anexo K)

### MARCO METODOLÓGICO

Sólidos totales	Se evapora en un horno de calor regulable, en una cápsula de porcelana tarada, una porción medida de la muestra homogeneizada; secarla en el horno a una temperatura seleccionada, enfriarla y pesarla en balanza analítica para ser expresada en ml/l. (ver anexo L)
Sólidos sedimentables	Se mide los mililitros de sedimentos vertiendo un litro de la muestra homogeneizada en un cono de Imhoff. Los resultados se muestran en ml/l (ver anexo M)
Microbiología (Determinación de coliformes fecales por UFC)	Utilización del método de difusión. Se realiza una serie de diluciones en varios tubos, se enumeran los tubos de ensayo que contengan 10 ml de agua de dilución, sembrándose el primero de ellos con un ml de la muestra y se agita para obtener una suspensión uniforme de los microorganismos. De esta suspensión se lleva un ml al segundo tubo y se mezcla bien, procediéndose de forma similar con los siguientes tubos. De cada dilución se extrae un ml para ser sembrado en una capsula de Pietri junto con el agar (medio de cultivo) en estado líquido. (ver anexo N)

Fuente: Elaboración propia.

### 3.13 Caudal de Diseño y Velocidad de Entrada

Para el cálculo del caudal de diseño en la modelación del (RBS), se determina el volumen a manejar en función de una población de 4 estudiantes.

Utilizando la ecuación (3) y la tabla 3 de la dotación de agua de uso educacional.

$$Q_{m.A.N} = 0,80 * (40 \text{ litros/alumno/día} * 4 \text{ alumno}) = 128 \text{ litros/día.}$$

Se trabaja con unos 126 litros/día a efectos prácticos de programación.

Se determinó que trabajar con una velocidad de entrada al (RBS) entre 0,1 a 0,35 m/s, puede ayudar a obtener un mayor tiempo de retención en cada cámara favoreciendo una sedimentación más efectiva.

A continuación se muestran los caudales y velocidades calculadas en el sistema:

**MARCO METODOLÓGICO**

**Tabla 16. Cálculo de caudales a manejar y velocidades dentro del sistema**

	Volumen (ml)	Tiempo (seg)	Q (lps)	Caudal (m3/s)	Diámetro (cm)	Área (m2)	Velocidad (m/s)	
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	
	Dato fijo (envase de medición)	Dato variable	$(\textcircled{1})/1000$	$\textcircled{3}/1000$	Dato (Diámetro de tubería)	$(\pi/4)*\textcircled{5}^2/(100^2)$	$\textcircled{4}/\textcircled{6}$	
Recirculación	1000	40	0,025	2,5E-05	1,662	0,0002169	0,115	
			⑬					
Entrada Agua Servida	1000	20	0,050	0,00005	1,662	0,0002169	0,230	
	Dato							
		⑧					Valor dado	
Volumen diario llevado al Tanque (RBS)		126	Lts.	Cantidad en porcentaje Recirculado			⑩	
							1715,00%	
		⑨		Cantidad de litros Recirculados		⑪	⑧*⑩	
Tiempo de recirculación		24	horas				2160,9 litros	
				Caudal de Recirculación		⑫	⑪/((⑨*3600)	
							0,0250 (lps)	
	vol. En litros en el tiempo (min.) señalado							
				⑭				
Duración de C/Arranque	60	15	10	6	3		(min.)	
				⑮				
				⑬*⑭*60				
Vol. movido por arranque	180,00	45,00	30,00	18,00	9,00		litros	
				⑧/⑮				
Nro. De Arranques	0,7	2,8	4,2	7,0	14,0			
	Volumen del Tanque RBS a construir:						⑯	74,6 lts
	Tiempo de retención del tanque RBS:						(⑯/③)/60	49,73 min

Fuente: Elaboración propia.

### 3.14 Programación y Arranques de Bombas

A continuación se muestran los tiempos de programación y arranque de las bombas utilizadas por el sistema, ver las siguientes tablas:

**MARCO METODOLÓGICO**

**Tabla 17. Programación del temporizador para la bomba P-101**

Bomba externa		
Hora:		nro de arranques:
08:30:00 a.m.	6 mín	1
09:30:00 a.m.	6 mín	2
10:30:00 a.m.	6 mín	3
11:30:00 a.m.	6 mín	4
12:30:00 p.m.	6 mín	5
02:45:00 p.m.	6 mín	6
04:15:00 p.m.	6 mín	7

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 18. Programación de los temporizadores para las bombas P-102 y P-103 en paralelo**

Horas:	24	tiempo de cada arranque: (Horas/Nro. De arranques)		1,2	Horas	
Nro. de arranques:	20	Cada arranque es de:		1 hora y 12	Minutos	
Nro. de arranques:	Ciclo	Tiempo:	Temporizador 1	Temporizador 2	Tiempo:	Ciclo
1	1	12:00:00 a.m.	on	on	01:12:00 a.m.	1
2		01:12:00 a.m.	off	off	02:24:00 a.m.	
3	2	02:24:00 a.m.	on	on	03:36:00 a.m.	2
4		03:36:00 a.m.	off	off	04:48:00 a.m.	
5	3	04:48:00 a.m.	on	on	06:00:00 a.m.	3
6		06:00:00 a.m.	off	off	07:12:00 a.m.	
7	4	07:12:00 a.m.	on	on	08:24:00 a.m.	4
8		08:24:00 a.m.	off	off	09:36:00 a.m.	
9	5	09:36:00 a.m.	on	on	10:48:00 a.m.	5
10		10:48:00 a.m.	off	off	12:00:00 p.m.	
11	6	12:00:00 p.m.	on	on	01:12:00 p.m.	6
12		01:12:00 p.m.	off	off	02:24:00 p.m.	
13	7	02:24:00 p.m.	on	on	03:36:00 p.m.	7
14		03:36:00 p.m.	off	off	04:48:00 p.m.	
15	8	04:48:00 p.m.	on	on	06:00:00 p.m.	8
16		06:00:00 p.m.	off	off	07:12:00 p.m.	
17	9	07:12:00 p.m.	on	on	08:24:00 p.m.	9
18		08:24:00 p.m.	off	off	09:36:00 p.m.	
19	10	09:36:00 p.m.	on	on	10:48:00 p.m.	10
20		10:48:00 p.m.	off	off	12:00:00 a.m.	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.15 Costos Constructivos

A continuación se muestra la información de los costos asociados a la construcción y puesta en marcha del sistema RBS.

### MARCO METODOLÓGICO

Los precios aquí mostrados expresados en bolívares y son establecido con fecha de a mayo de 2014.

**Tabla 19. Costos de materiales utilizados**

Pieza	Precio Unitario	Nro. De Piezas	Uni.	Precio	
Tubo de 1/2" de 3m.	68	5	pzas.	340,00	bs.
orejas de Anclaje	2,65	6	pzas.	15,90	bs.
anillo de toma de 1/2"	80	5	pzas.	400,00	bs.
cable #12	12	26	m	312,00	bs.
electro Valvula 110V	535	1	pza.	535,00	bs.
timer	1300	3	pzas.	3.900,00	Bs.
bomba de Agua 1	2200	1	pza.	2.200,00	Bs.
bomba de Agua 2	3000	1	pza.	3.000,00	Bs.
Tanque de Vidrio	1800	1	pza.	1.800,00	Bs.
valvula check de 1/2"	220	3	pzas.	660,00	Bs.
codo de 90° (PVC)	5	28	pzas.	140,00	Bs.
Tee de 1/2"	5,95	9	pzas.	53,55	Bs.
unión Universal de 1/2"	43,95	10	pzas.	439,50	Bs.
macho de 1/2"	3	25	pzas.	75,00	Bs.
anillo hembra	5,7	1	pza.	5,70	Bs.
Tee de 3/4" de rosca (PVC)	24	1	pza.	24,00	Bs.
codo de 90° de rosca (PVC)	12,95	1	pzas.	12,95	Bs.
niple de 1" de 1/2" (PVC)	9	3	pzas.	27,00	Bs.
reducción de 1" a 1/2"	17,95	4	pzas.	71,80	Bs.
Perfil de aluminio de 1"x 1"	350	1	pza.	350,00	Bs.
perfil de aluminio U 3/8"	150	1	pza.	150,00	Bs.
mangura de PVC de 45cm	33	1	pzas.	33,00	Bs.
pega de CPVC	89	2	pzas.	178,00	Bs.
codo de 45° (PVC)	5	2	pzas.	10,00	Bs.
llave de Paso mariposa	247	3	pzas.	741,00	Bs.
			TOTAL:	15.474,40	Bs.

**Fuente:** Elaboración propia. Con valores de precios actualizados a mayo de 2014

### 3.16 Organización en el Laboratorio

A fines de procesar de manera continua y eficiente el total de muestras diariamente tomadas, se organizó la manera correcta en que se debía trabajar con los instrumentos y los análisis a realizar mediante la supervisión de los técnicos: Douglas Sánchez y Wendy Caldera, especializados en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria, a fin de llevar con éxito los procedimientos correspondientes a cada ensayo.

## 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Comportamiento Hidráulico del Tanque RBS

Siguiendo un estudio correlativo de lo que sucede dentro del tanque RBS, inicialmente se realizó una prueba de movimiento hidráulico, así como también se hace referencia a las características de los parámetros de diseño como lo son carga hidráulica volumétrica, tiempo de retención, carga orgánica volumétrica, velocidad superficial y carga hidráulica del lecho filtrante presentes en el tanque RBS.

#### 4.1.1 Prueba de movimiento hidráulico

Para realizar el estudio hidráulico del reactor RBS, se realizó una prueba con un procedimiento que consistió en inyectar 200 gr de arena Fuller mezclado con una solución de dicromato de potasio al reactor por medio de una dosis instantánea a la primera cámara, según lo observado es que las partículas al entrar al tanque presentan un comportamiento disperso dentro del reactor a medida que van pasando cámara tras cámara así como la tintura del dicromato de potasio se va segregando alrededor de cada cámara por lo que se supone que el reactor tiene un predominio de mezcla completa.

#### 4.1.2 Carga hidráulica volumétrica

Experimentalmente, se ha determinado que la carga hidráulica volumétrica no debe sobrepasar los  $5 \text{ m}^3 / \text{d} * \text{m}^3$ . CHERNICHARO, C. MACHADO, R. (1997).

El caudal utilizado para este cálculo es el de entrada de agua presedimentada que es de  $0.126 \text{ m}^3/\text{d}$  sumado al de recirculación que es de  $2.16 \text{ m}^3/\text{d}$ , ya que es el caudal que pasa por el reactor durante todo el día.

$$Lh = \frac{Q}{Vt} = \frac{2.286}{0.0746} = 30.64 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 * \text{d}}$$

Donde:

Lh= carga hidráulica volumétrica en  $\text{m}^3/\text{m}^3 * \text{d}$

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Q= caudal en m<sup>3</sup>/d

V<sub>t</sub>= volumen del reactor m<sup>3</sup>

El valor obtenido es mayor que el valor límite lo que indica que la remoción no se da de forma completa debido a problemas de flujo más que al mecanismo de la digestión del reactor. La carga hidráulica al ser mayor el fluido permanece dentro del reactor un tiempo menor que el necesario para que se dé una remoción eficiente, sin embargo el resultado teórico obtenido difiere del resultado práctico, ya que en la modelación se implementa el sistema de recirculación, lo cual permite una mayor remoción de sedimentos.

**4.1.3 Tiempo de retención en el RBS**

El tiempo de retención depende del propósito del sistema, en sedimentadores de placas inclinadas, se recomienda un tiempo de retención de 15 a 25 minutos. Ing. Romero, J. (2000).

El tiempo de retención es igual al volumen de agua dentro del tanque dividido por el caudal. Según las dimensiones planteadas en el punto 3.8.3, en la siguiente tabla, se muestra el tiempo de retención de cada cámara y sub cámara del reactor. El caudal utilizado para estos cálculos se basa en los valores obtenidos en el punto 3.13 (Caudal de Diseño y Velocidad de Entrada)

**Tabla 20. Tiempos de retención en cada cámara y sub-cámara**

Cámaras y Sub-Cámaras	Caudal (lps)	Volumen (lts.)	Tiempo de Retención (min)
Sub-Cámara (1.1)	0,025	14,0	9,33
Sub-Cámara (1.2)	0,025	22,6	15,07
Sub-Cámara (1.3)	0,025	15,0	10,00
Cámara 2	0,025	13,0	8,66
Cámara 3	0,025	10,0	6,66
Reactor completo	0,025	74,6	<b>49,72</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

Cabe destacar que si el tiempo de retención en reactores de mezcla completa es el inverso de la carga hidráulica volumétrica entonces tiempo de retención no debe ser menor a 4.8 horas, sin embargo como el tanque cuenta con placas inclinadas y un sistema de recirculación la

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

remoción de sólidos en suspensión es mayor a media que la masa de agua pasa por el reactor una y otra vez ayudando a la sedimentación de las partículas que aún no logran sedimentar en la primera pasada.

### **4.1.4 Carga orgánica volumétrica**

El caudal utilizado para este cálculo es el de entrada de agua únicamente presedimentada que es de 0.126 m<sup>3</sup>/d, ya que es el único caudal que tiene una concentración de sustrato de 0.108 kgDBO/m<sup>3</sup>d.

$$Lo = \frac{Q * So}{Vt} = \frac{0.126 * 0.108}{0.0746} = 0.182 \text{ KgDBO}/m^3d$$

Donde:

Lo= Carga orgánica volumétrica, (kgDQO/m<sup>3</sup>\*d)

Q= Caudal afluente, m<sup>3</sup>/d

So= Concentración de sustrato afluente (kgDQO/m<sup>3</sup>)

Vt= Volumen total del reactor, m<sup>3</sup>

Es evidente que la carga orgánica volumétrica actual es mucho menor que la que se podría alcanzar en condiciones ideales, ya que se manejan caudales pequeños y la cantidad de materia orgánica acumulada es inferior a la que se podría obtener en un reactor de tamaño real. También vale acotar que el sistema de recirculación tiene una influencia importante en la remoción de carga orgánica durante todo el día, ya que a medida que agua pasa una y otra vez su carga orgánica va disminuyendo hasta el punto que puede llegar a realizar una remoción casi completa.

### **4.1.5 Velocidad superficial del flujo**

El caudal utilizado para este cálculo es el de entrada de agua presedimentada que es de 0.05lps = 0.18 m<sup>3</sup>/h sumado al de recirculación que es de 0.025lps = 0.09 m<sup>3</sup>/h, ya que es el máximo caudal que puede llegar a entrar al reactor en el momento en que ambos pases están activados.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.27}{0.33 * 0.3} = 2.73m/h$$

Donde:

$v$  = velocidad superficial de flujo, velocidad ascensional, m/h

$Q$  = caudal afluente, m<sup>3</sup>/h

$A$  = área de sección transversal del reactor, m<sup>2</sup>

Esta velocidad superficial sólo se mantiene por un instante de tiempo lo cual sólo influye en el reactor cuando está entrando carga de agua servida mientras se mantiene la recirculación operando continuamente.

Sin embargo como el agua presedimentada sólo entra por períodos de tiempo muy cortos y pocas veces al día, es considerable verificar que pasa cuando sólo está activa la recirculación en el sistema.

Solo con caudal de recirculación 0.025lps = 0.09 m<sup>3</sup>/h.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.09}{0.33 * 0.3} = 0.91m/h$$

La velocidad superficial media para reactores operando con lodo floculento y con cargas orgánicas hasta 6.0 kg DQO/m<sup>3</sup>\*d, pueden ser  $\leq 1.1$  m/h. CHERNICHARO, C. MACHADO, R. (1997). Por ende, el valor obtenido se encuentra dentro del límite requerido para este caudal de recirculación.

### **4.1.6 Carga hidráulica del biofiltro de lecho fijo**

La carga hidráulica (CH) de un biofiltro sin recirculación representa la carga de agua aplicada por unidad de área superficial del lecho, y viene dado por:

$CH = Q/A$  haciendo referencia a la tabla 7 del capítulo 2, si:

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

$$CH = \frac{0,126 \frac{m^3}{día}}{0,04125 m^2} = 3,06 m^3/m^2/día.$$

En este caso muestra que el biofiltro de lecho fijo utilizado sería de baja rata, pero al aplicarle recirculación al sistema ayuda a aumentar la carga aplicada al incrementar el caudal; los resultados se muestran a continuación:

La carga hidráulica (CH) final del biofiltro con recirculación representa la carga de agua aplicada por unidad de área superficial del lecho, y viene dado por:

CH = Q/A      haciendo referencia a la tabla 7 del capítulo 2, si:

$$CH = \frac{2,286 \frac{m^3}{día}}{0,04125 m^2} = 55,42 m^3/m^2/día.$$

Demuestra que el biofiltro de lecho fijo utilizado es de alta rata.

**4.2 Cálculo Numérico de Biosferas y Modelación de Carga Orgánica Dentro del Lecho Filtrante**

A continuación se presentan los cálculos que permiten conocer el valor de remoción de carga orgánica de forma teórica, según el volumen tratado en la cámara 2 que es de 13 Lts y con un biofiltro de lecho fijo formado por 322 esferas, según las fórmulas obtenidas en el punto (2.11.2.2 Formulación para medio filtrante de material plástico).

Estos cálculos serán utilizados en comparación con la carga de DBO obtenido en los ensayos de la modelación real.

Con los siguientes datos y las ecuaciones (9), (10), (11) y (12) se procedió a formular la tabla 21.

D (m)	A (m <sup>2</sup> )	Qi (m <sup>3</sup> /día)	Qr (m <sup>3</sup> /día)	K <sub>T</sub> (día <sup>-1</sup> )	S (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
0,26	0,04125	0,126	2,16	0,27316	96,21
Profundidad del filtro	Área transv. del filtro	Q Cruda por día a la entrada	Q de recirculación por día	T:a 25° C. Ecu.(11)	Dato

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

En siguiente tabla se plantea varios valores de  $L_i$  posibles de entrada al biofiltro de lecho fijo y la siguientes columnas de  $L_o$  y  $L_e$  son los posible valores de remoción calculados que se podrían obtener para las dimensiones del biofiltro y caudales arriba mencionados.

**Tabla 21. Cálculo de  $L_e$  (DBO a la salida) y  $L_o$  (DBO a la entrada del rector con la ecuación (12) y ecuación (10))**

$L_i$ [DBO Entrada (mg/l)] Dato elegido para el cálculo en el sistema de ecuaciones.	$L_o$ [DBO a la recirculación (mg/l)] Obtenido del cálculo	$L_e$ [(DBO salida a disposición final (mg/l)] Obtenido del cálculo
240	21.25	8.49
220	19.48	7.78
200	17.70	7.07
180	15.93	6.36
160	14.16	5.66
140	12.39	4.95
120	10.62	4.24
100	8.85	3.54

**Fuente:** Elaboración propia mediante un sistema de ecuaciones.

Para mayor información de cómo se realizaron los cálculos de forma detallada, ver anexo W.

### **4.3 Comportamiento de los Procesos Físico-Químico y Biológico del Tanque RBS**

#### **4.3.1 Promedios de los resultados obtenidos en los ensayos**

Siguiendo los resultados obtenidos en la tabla 22, donde se muestran los promedios de los valores obtenidos en cada ensayo realizado a las muestras y con la finalidad de verificar la tendencia general de reducción de los parámetros entre las partes que conforman el tanque RBS, aquí se aprecia la eficiencia de remoción que ofrece el reactor. Ver a continuación.

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

*Tabla 22. Valores promedios de los resultados obtenidos en los ensayos*

Muestra	pH	Color (UCV)	Turbiedad (UNT)	Sólidos Disueltos Totales (SDT) (mg/L)	Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ )	DBO 5,20 (mg/L)	DQO (mg/L)	Sólidos Totales (mg/L)	Sólidos Sedimentables (ml/L)	Sólidos Suspensos Totales (mg/L)
(E.Cruda)	-	283	100	-	-	-	-	823	7,84	-
E.M (Presedimentada)	7,71	196	66	578	1156	108	237	597	0,1	69
(S.T)	7,16	95	26	504	987	35	89	474	0,0	28
(S.M)	6,61	56	9	435	871	19	67	377	0,0	13

Muestra	MICROBIOLOGIA coliformes fecales (UFC/ml)	
	De la semana 2 al 7	De la semana 10 al 11
(E.Cruda)	-	-
E.M (Presedimentada)	2,16E+10	1,43E+09
(S.T)	1,06E+08	-
(S.M)	5,13E+07	-
S. Sin UV	-	6,80E+04
S. Con UV	-	2,00E+04

$$\text{Sólidos suspendidos totales} = \text{Sólidos totales} - \text{SDT}$$

**Fuente:** Elaboración Propia.

Como se puede apreciar la remoción de todos los parámetros fue eficiente, también hay que tomar en cuenta que la tabla antes mostrada arroja los promedios incluyendo los valores obtenidos al principio de la puesta en funcionamiento del RBS aun cuando el sistema no se había estabilizado y arrojaba valores mayores a los obtenidos luego de la estabilización, dando como resultados promedios un poco más altos de lo que se muestran en las últimas semanas de evaluación. Las tendencias se pueden observar mejor en las gráficas mostradas más adelante en el punto 4.3.3.

**4.3.2 Cálculo de las eficiencias**

La siguiente tabla tiene como objetivo, mostrar la eficiencia entre cada uno de los procesos que conforman el tanque RBS, además cabe destacar que el proceso de remoción de grandes sedimentos ocurre en el desbaste previo al tanque compensador A y es equivalente a un 30% de remoción, por ende la eficiencia mostrada de remoción en sólidos totales, no es sobre

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

un 100% de todos los sólidos, esta sedimentación previa también afecta al valor de cantidad DBO así como el de DQO inicial que entra directamente al tanque en comparación a los valores en el agua cruda sin presedimentar, este porcentaje de remoción de DBO y DQO también puede llegar hasta un 30% dependiendo del tiempo de desbaste.

En el siguiente cuadro se muestra la eficiencia de remoción en cada muestra tomada, partiendo de la ecuación (13) presentada en el punto 2.12.

**Tabla 23. Eficiencia del RBS y valores de remoción según los valores promedios**

Eficiencias %	Color aparente (UPT-Co)	Turbiedad (UNT)	Sólidos Disueltos Totales (SDT) (mg/L)	Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ )	DBO 5,20 (mg/L)	DQO (mg/L)	Sólidos Totales (mg/L)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)
De (E.Cruda) a E.M (Presedimentada)	30,93%	34,03%	(a)	(a)	(a)	(a)	29,82%	-
	De 283 a 196	De 13 a 9					De 823 a 597	-
De E.M (Presedimentada) a (S.T)	51,30%	60,66%	12,79%	14,58%	68,12%	62,55%	20,65%	59,51%
	De 196 a 95	De 9 a 3	De 578 a 504	De 1156 a 987	De 108 a 35	De 237 a 89	De 597 a 474	De 69 a 28
De (S.T) a (S.M)	41,64%	66,74%	13,64%	11,78%	44,82%	24,33%	20,53%	52,32%
	De 95 a 56	De 3 a 1	De 504 a 405	De 987 a 871	De 35 a 19	De 89 a 67	De 474 a 377	De 28 a 13
De (E.Cruda) a (S.M) (24hrs)	80,37%	91,37%	(b)	(b)	(b)	(b)	47,15%	-
	De 283 a 56	De 13 a 1					De 823 a 377	-
De E.M (Presedimentada) a (S.M) (24hrs)	49,44%	57,34%	17,32%	24,65%	82,41%	71,66%	36,94%	80,69%
	De 196 a 56	De 9 a 3	De 578 a 405	De 1156 a 871	De 108 a 19	De 237 a 67	De 597 a 377	De 69 a 13

**Fuente:** Elaboración propia.

(a) No se realizaron ensayos de SDT, Conductividad, DBO<sub>5,20</sub>, y DQO

(b) No se realizaron ensayos de SDT, Conductividad, DBO<sub>5,20</sub>, y DQO, no se puede calcular remoción completa ocurrida entre la Entrada Cruda y la Salida en la Mañana.

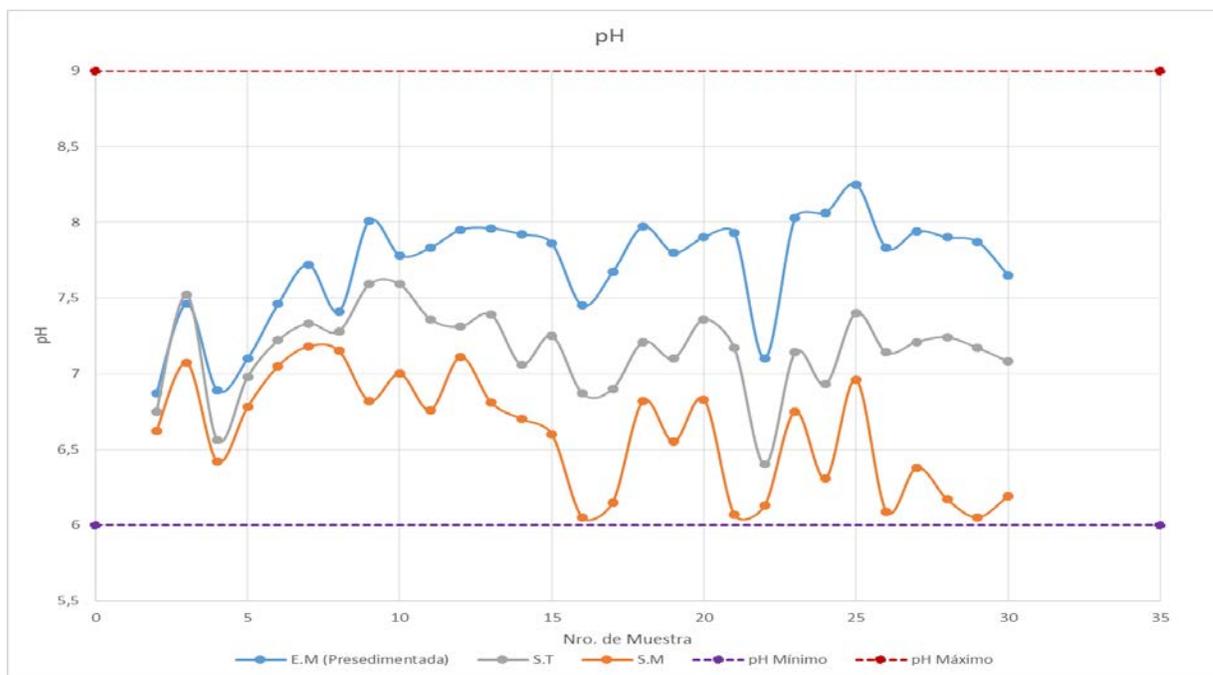
### 4.3.3 Resultados generales de los ensayos realizados en la modelación

Es conveniente señalar, que los valores obtenidos por los análisis realizados a las muestras de agua tomada en los diferentes puntos del sistema se encuentran ubicados en el anexo T; a medida que se evalúan resultados, se está haciendo referencia al gráfico correspondiente

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

para cada parámetro en estudio. Básicamente, cada parámetro presenta un gráfico, correspondiente al comportamiento del efluente de cada uno de los puntos en estudio del sistema a lo largo del período de toma de muestras, uno durante la corrida de la mañana y otro durante la corrida de la tarde.

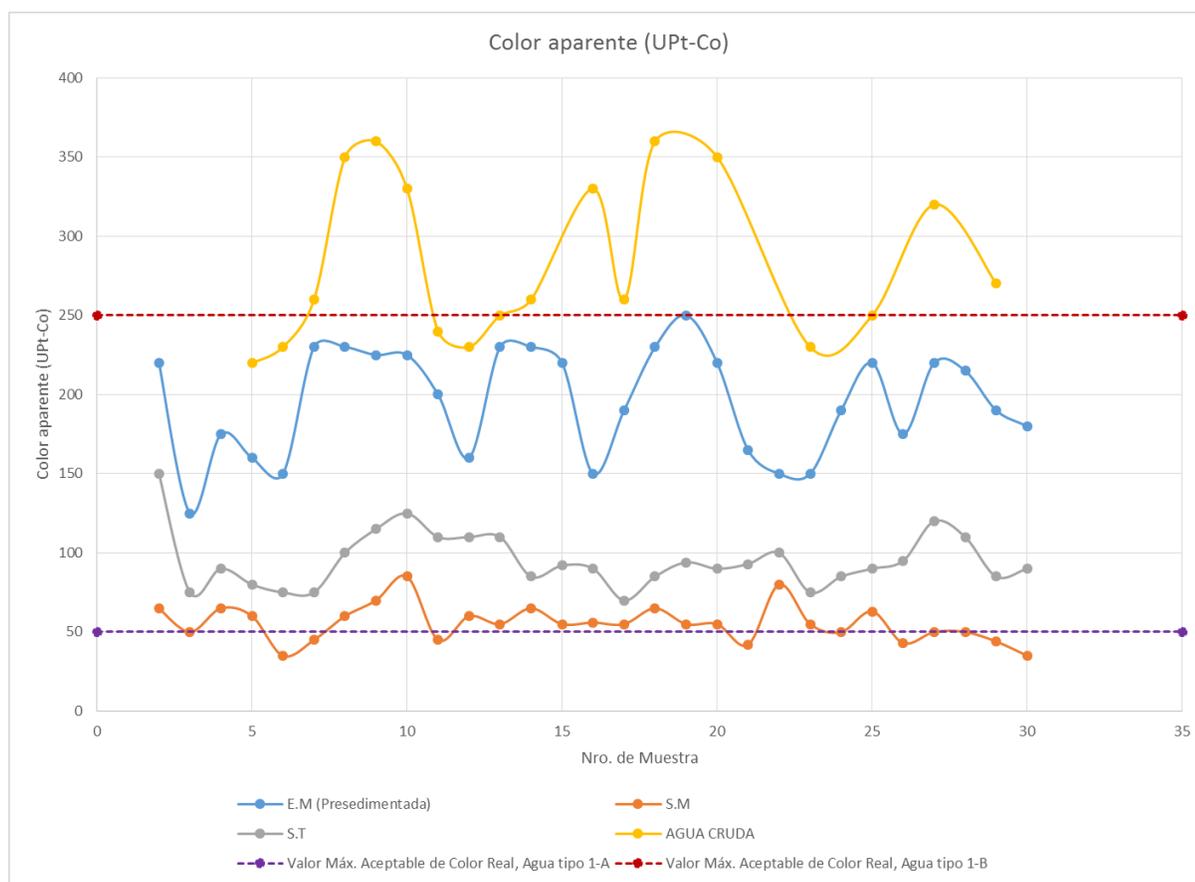
- **pH:** tuvo un comportamiento constante en todo el período de la toma de muestras, siempre encontrándose por encima de 6 y por debajo de 8. Estos valores cumplen con los requisitos establecidos en el Decreto 883 (valores entre 6 y 9) para un agua tipo 1B. En cuanto a los resultados obtenidos las muestras mantienen un comportamiento constante los primeros 15 días, encontrándose un pH por arriba de 6,5; luego en la muestra de la mañana (S.M) se observa niveles más bajos, lo que indica que el agua se vuelve más ácida y esto se debe a que luego de los primeros 15 días se decidió colocar el oxigenador por eventos de 15 minutos cada uno y no de manera continua como se mantuvo las primeras 2 semanas; esto trajo como consecuencia que las moléculas de oxígeno presente en el agua fueran consumidas por los microorganismos en el biofiltro.



**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

**E.M**= Agua residual pre-sedimentada | **S.M**= Salida en la mañana con tratamiento de Máx. Eficiencia | **S.T**= Salida en la tarde con tratamiento en proceso

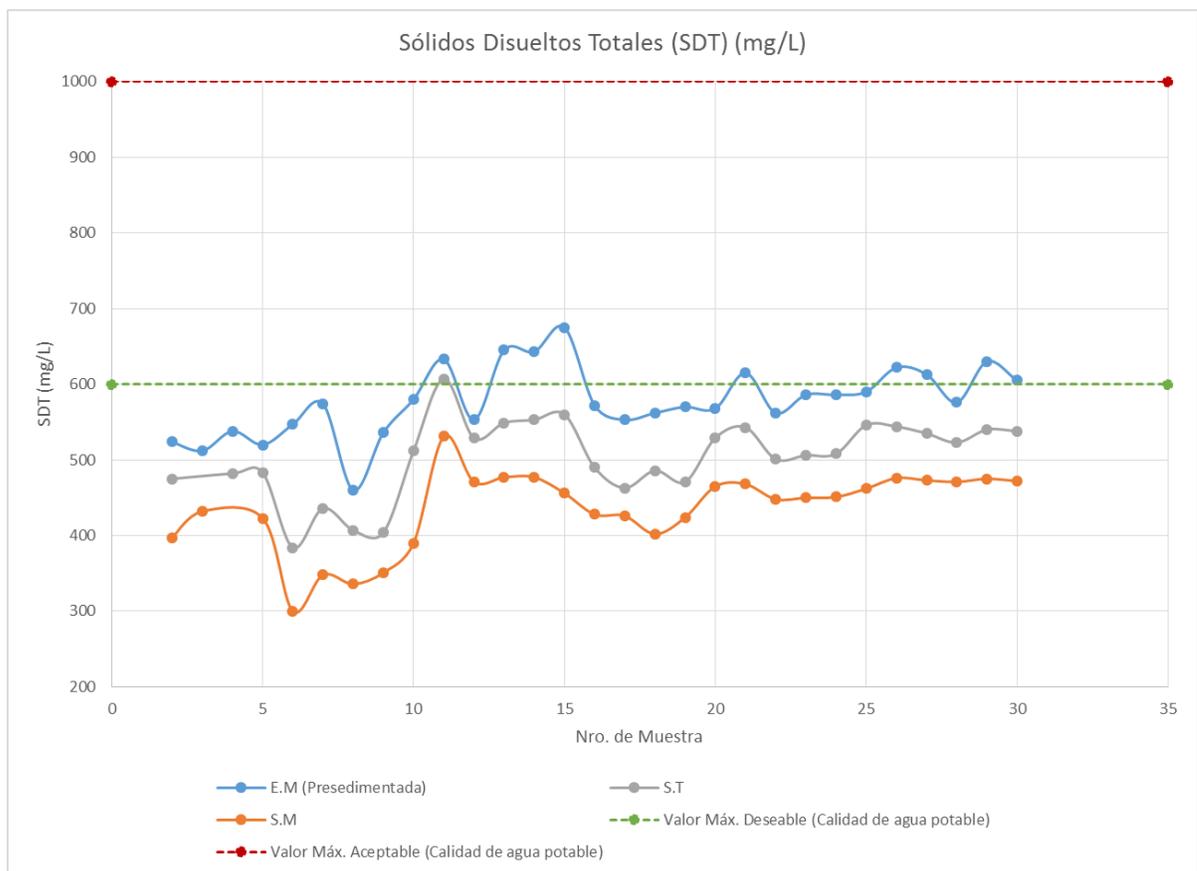
- **Color aparente:** a simple vista se observó, que los valores de color aparente para la muestras (S.M) y (S.T) se encuentran dentro del límite establecido en el Decreto 883 (menor a 150 UCV) para aguas tipo 1-B. Mantuvo un comportamiento constante, arrojando valores bajos en comparación al resto. Los valores de la muestra (S.M) durante el período de ensayos, demuestra que el sistema de recirculación trabajando constantemente durante toda la noche ayuda a clarificar de forma continua dando mejores resultados en el agua tratada.



**E.M**= Agua residual pre-sedimentada | **S.M**= Salida en la mañana con tratamiento de Máx. Eficiencia | **S.T**= Salida en la tarde con tratamiento en proceso

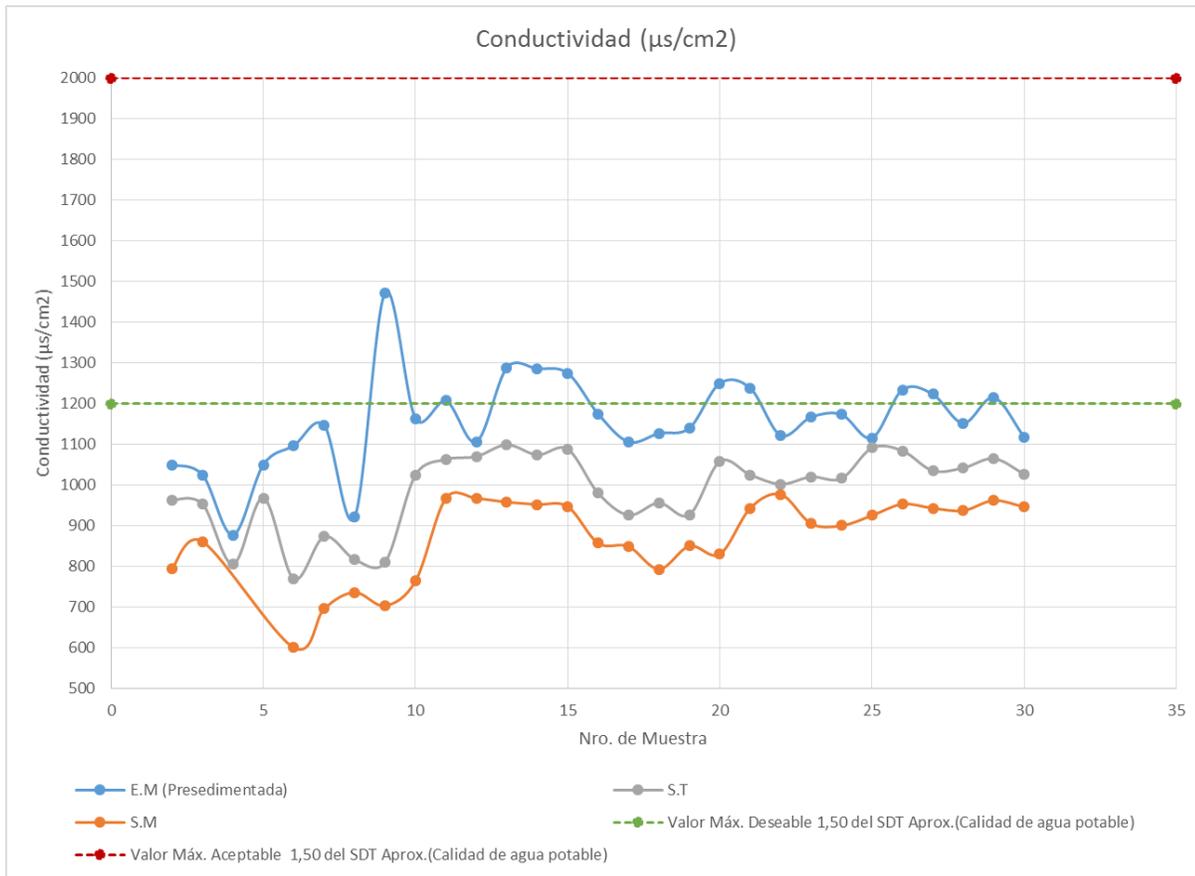
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

- **SDT:** al igual que el color, todos los resultados de los valores de sólidos disueltos totales se mantuvieron dentro de la Norma Sanitaria de Calidad de Agua Potable. (1998). Su comportamiento fue muy similar al color aparente, esto se debe a que el color aparente refleja indirectamente la presencia de sólidos disueltos y coloidales. La conductividad se comportó muy parecida a los sólidos disueltos totales, por lo que demuestra veracidad en los resultados de dicho indicador.



**E.M=** Agua residual pre-sedimentada | **S.M=** Salida en la mañana con tratamiento de Máx. Eficiencia | **S.T=** Salida en la tarde con tratamiento en proceso

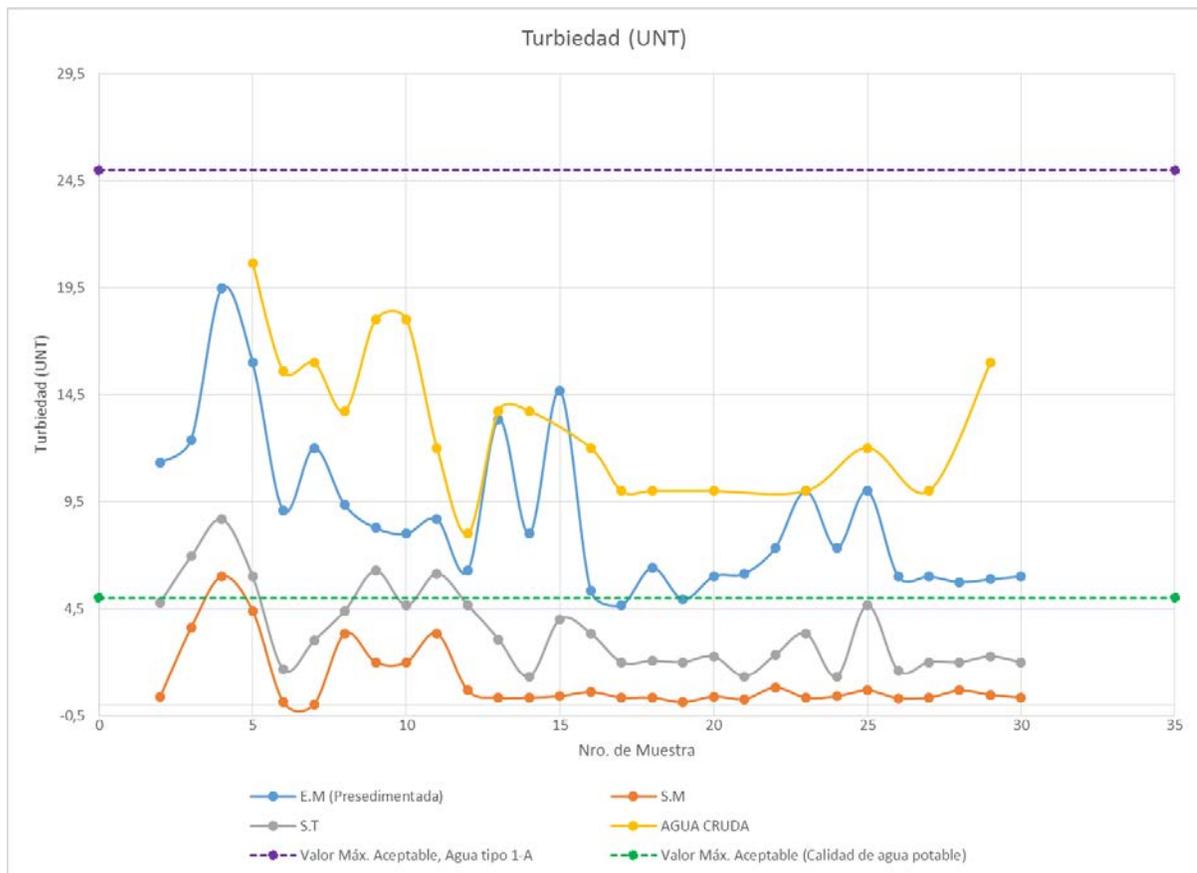
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**



**E.M=** Agua residual pre-sedimentada | **S.M=** Salida en la mañana con tratamiento de Máx. Eficiencia | **S.T=** Salida en la tarde con tratamiento en proceso

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

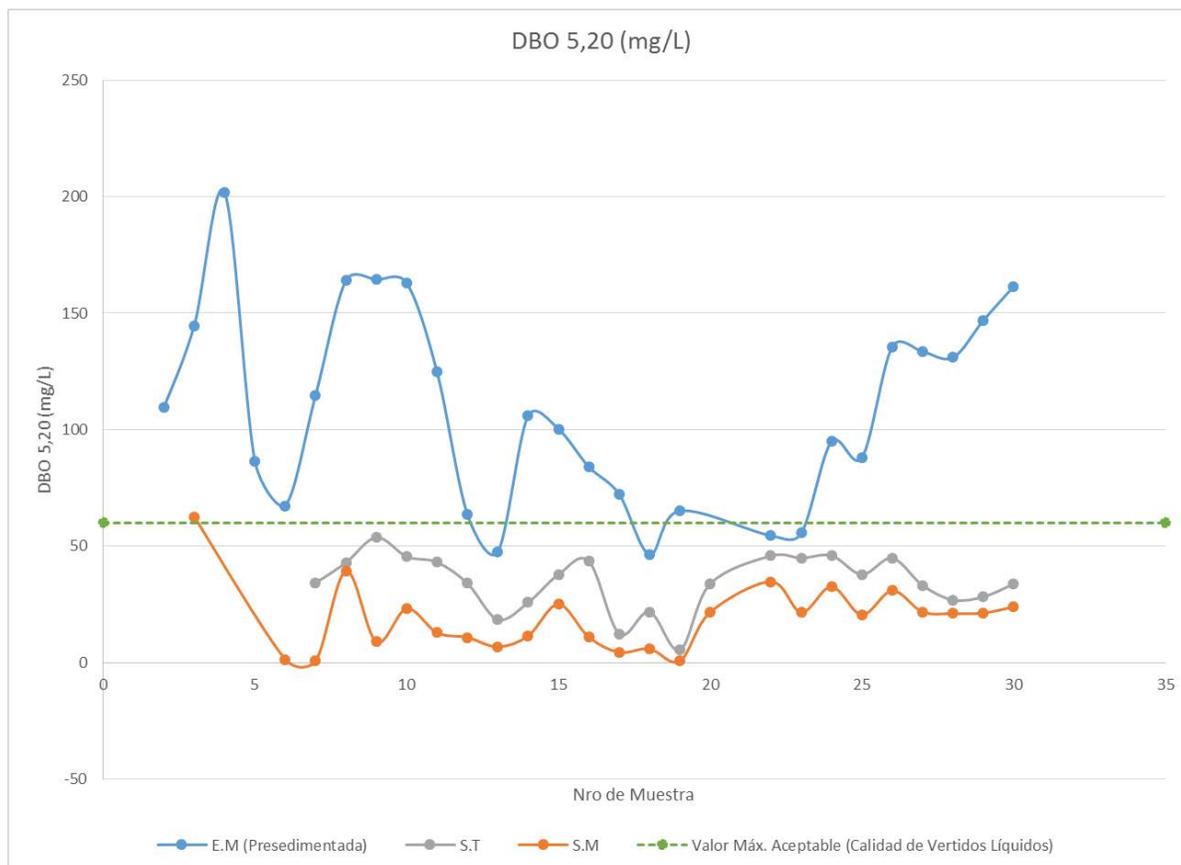
- **Turbiedad:** la primera semana para la turbiedad fue poco regular, dando valores muy elevados, en comparación con los días siguientes, donde se mantuvieron en un orden dentro de los niveles deseados (comparable con niveles de calidad de agua potable) los cuales rige que los niveles deben de ser inferiores a 5 UNT. Esto puede deberse, a las mejoras que se fueron realizando en cuanto al funcionamiento del RBS haciendo que el reactor se estabilizara a lo largo de las primeras semanas.



**E.M=** Agua residual pre-sedimentada | **S.M=** Salida en la mañana con tratamiento de Máx. Eficiencia | **S.T=** Salida en la tarde con tratamiento en proceso

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

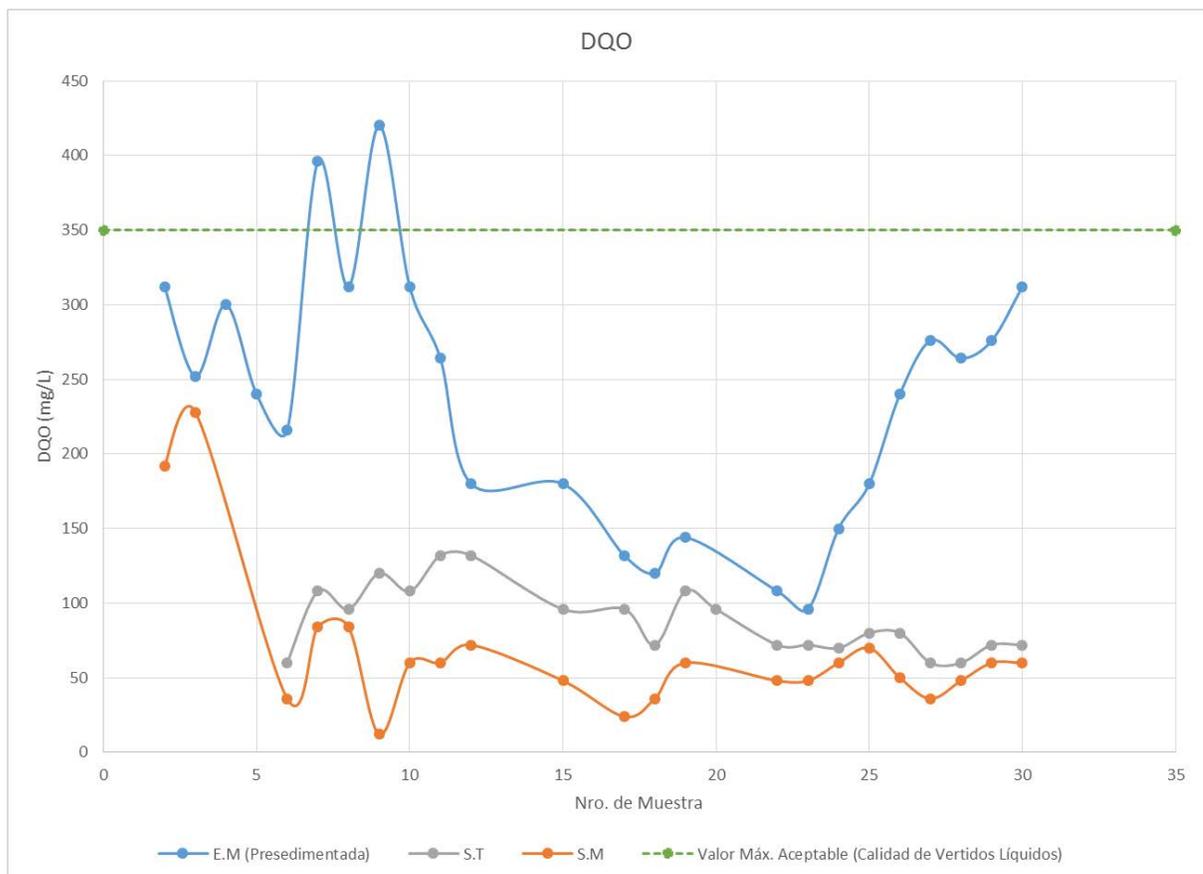
- **DBO<sub>5,20</sub>**: la cantidad de muestras que se analizaron usando este parámetro, se vio reducida por las limitaciones de tiempo, por tal razón, las muestras analizadas no se pudieron realizar por duplicado como lo exige la norma. Sin embargo los análisis de las muestras arrojaron valores que cumplen con los requisitos establecidos en el Decreto 883, según el artículo 10 referente a vertidos líquidos (menor a 60 mg/l), existe una remoción considerable de DBO<sub>5,20</sub>, como se pudo observar en el grafico anexo, los resultados finales fueron los deseados. Esto se debe, que al aplicar el tratamiento primario remueve una parte importante de la DBO<sub>5,20</sub> obteniendo niveles tales que la biofiltración sea capaz de remover hasta niveles deseados.



**E.M=** Agua residual pre-sedimentada | **S.M=** Salida en la mañana con tratamiento de Máx. Eficiencia | **S.T=** Salida en la tarde con tratamiento en proceso

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

- **DQO:** se encontró dentro de los límites establecidos en el Decreto 883 (menor o igual a 350 mg/l) según el artículo 10 sobre calidad de vertidos líquidos; se pudo observar que las muestras (E.M) aumentó considerablemente en algunos días, es de suponer, que dicho aumento se debe a la utilización de detergentes u otras sustancias similares, lo que aumenta la cantidad de materia que es capaz de oxidarse en presencia de oxígeno. Finalmente, se comprobó que durante esos días, el sistema tuvo la capacidad de mantener valores estables y menores a 70 mg/l. También se pudo notar que entre más tiempo tenga el reactor, más eficiente es el RBS a medida que se estabiliza.

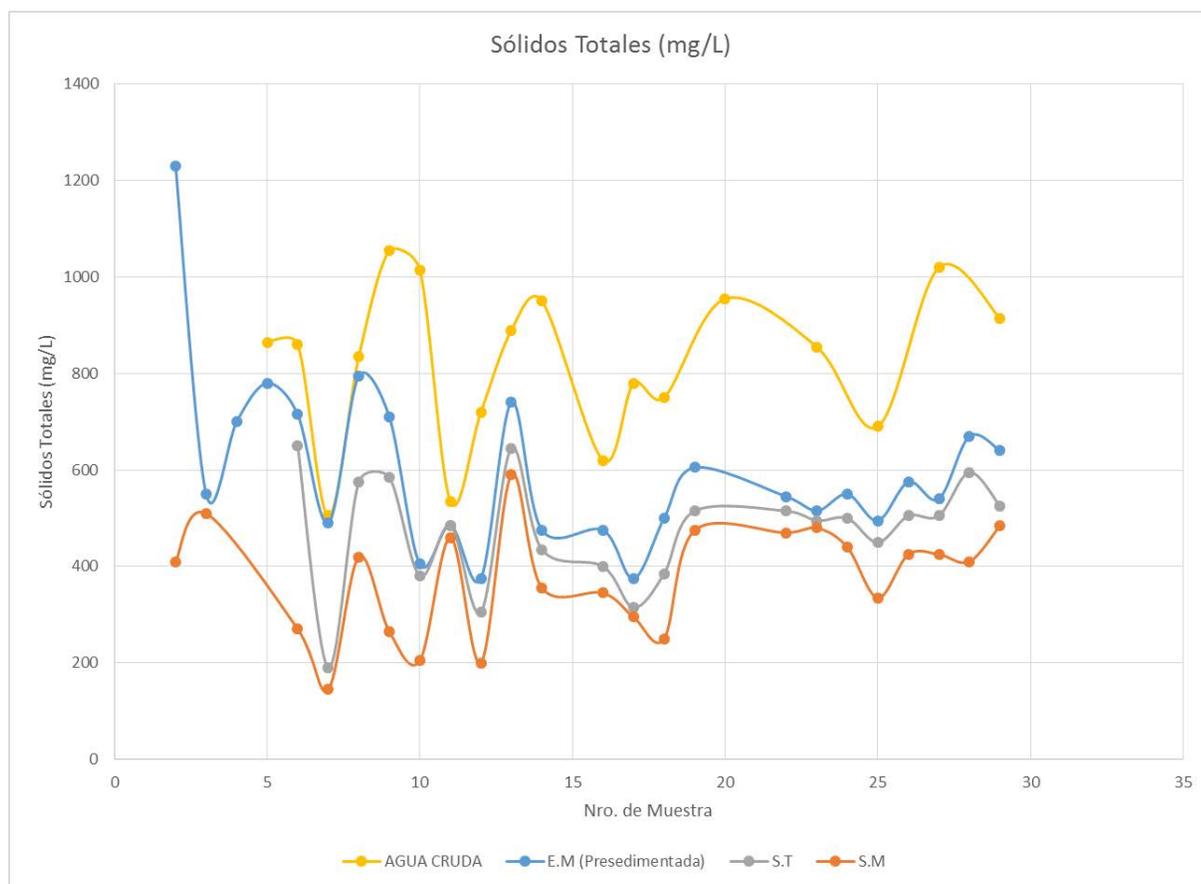


**E.M=** Agua residual pre-sedimentada | **S.M=** Salida en la mañana con tratamiento de Máx. Eficiencia | **S.T=** Salida en la tarde con tratamiento en proceso

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

**-Sólidos totales:** La determinación de los sólidos totales permitió estimar los contenidos de materias disueltas y suspendidas presentes en el agua. Su determinación se basó en una medición cuantitativa del incremento de peso que experimento una cápsula previamente tarada tras la evaporación de una muestra y secado a peso constante a 80°C.

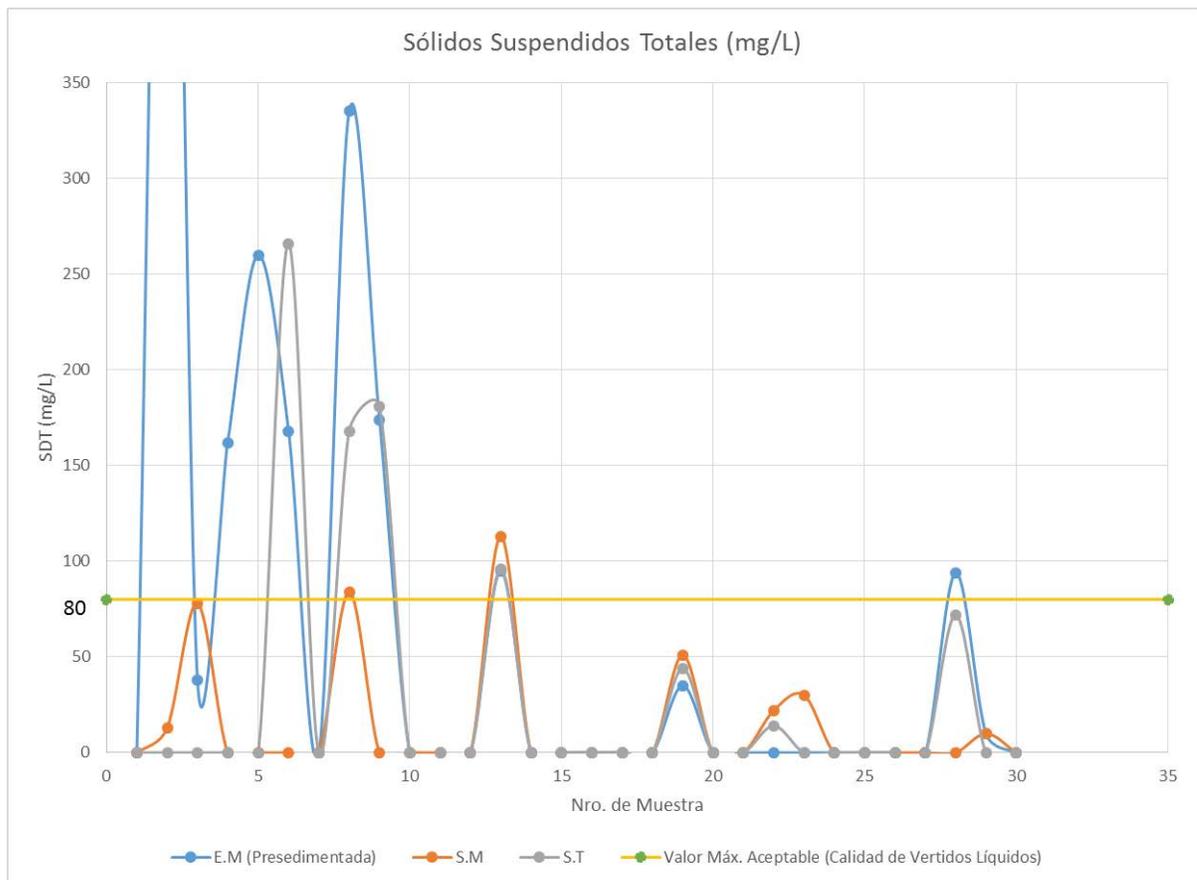
Los resultados obtenidos disminuyeron considerablemente con respecto al valor referencial de agua cruda mostrado en la gráfica lo que muestra que el sistema tiene una eficacia al lograr unos resultados óptimos dentro de las 24 horas de remoción propuestos.



**E.M=** Agua residual pre-sedimentada | **S.M=** Salida en la mañana con tratamiento de Máx. Eficiencia | **S.T=** Salida en la tarde con tratamiento en proceso

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

**-Sólidos suspendidos:** En los sólidos suspendidos se puede observar que la remoción es casi total luego de un par de horas después de haber entrado el agua al tanque RBS, la norma indica que un agua que va a ser descargada a un cuerpo de agua (vertidos líquidos según decreto 883.) deben tener una carga inferior a 80 mg/l y los resultados obtenidos muestran que se encuentran por debajo de este valor.

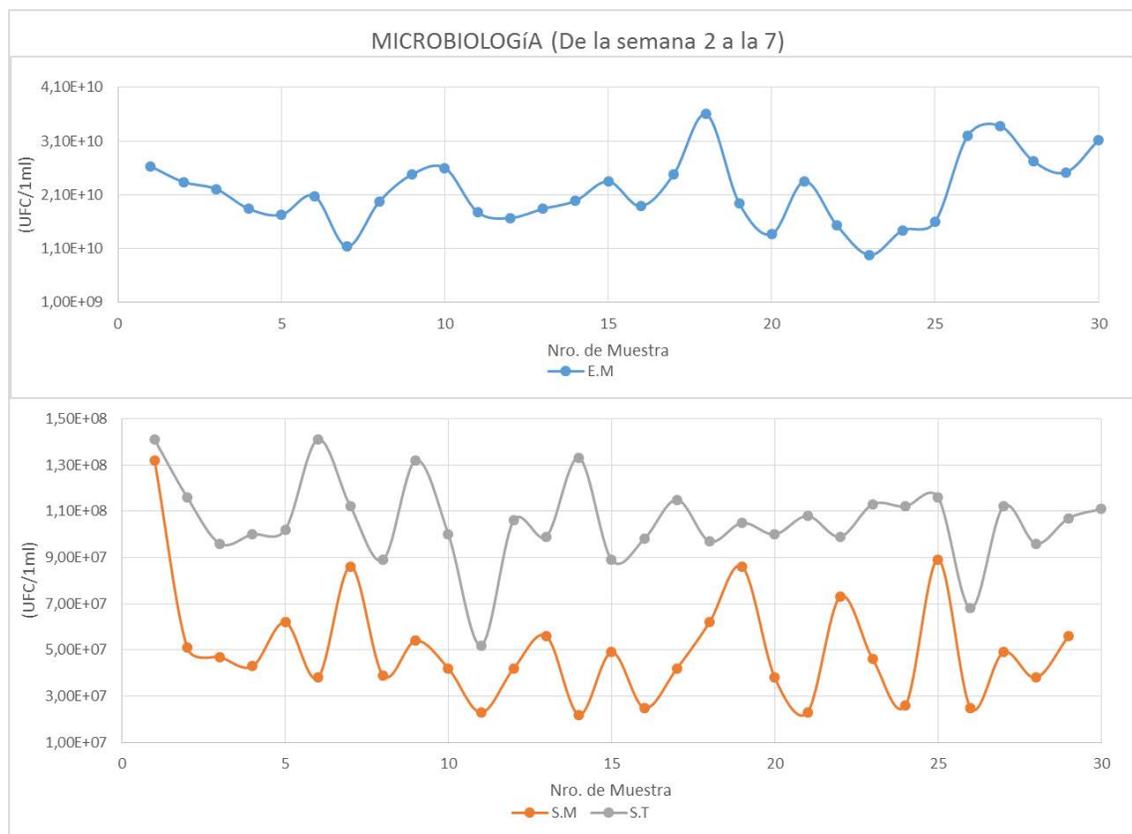


**E.M=** Agua residual pre-sedimentada | **S.M=** Salida en la mañana con tratamiento de Máx. Eficiencia | **S.T=** Salida en la tarde con tratamiento en proceso

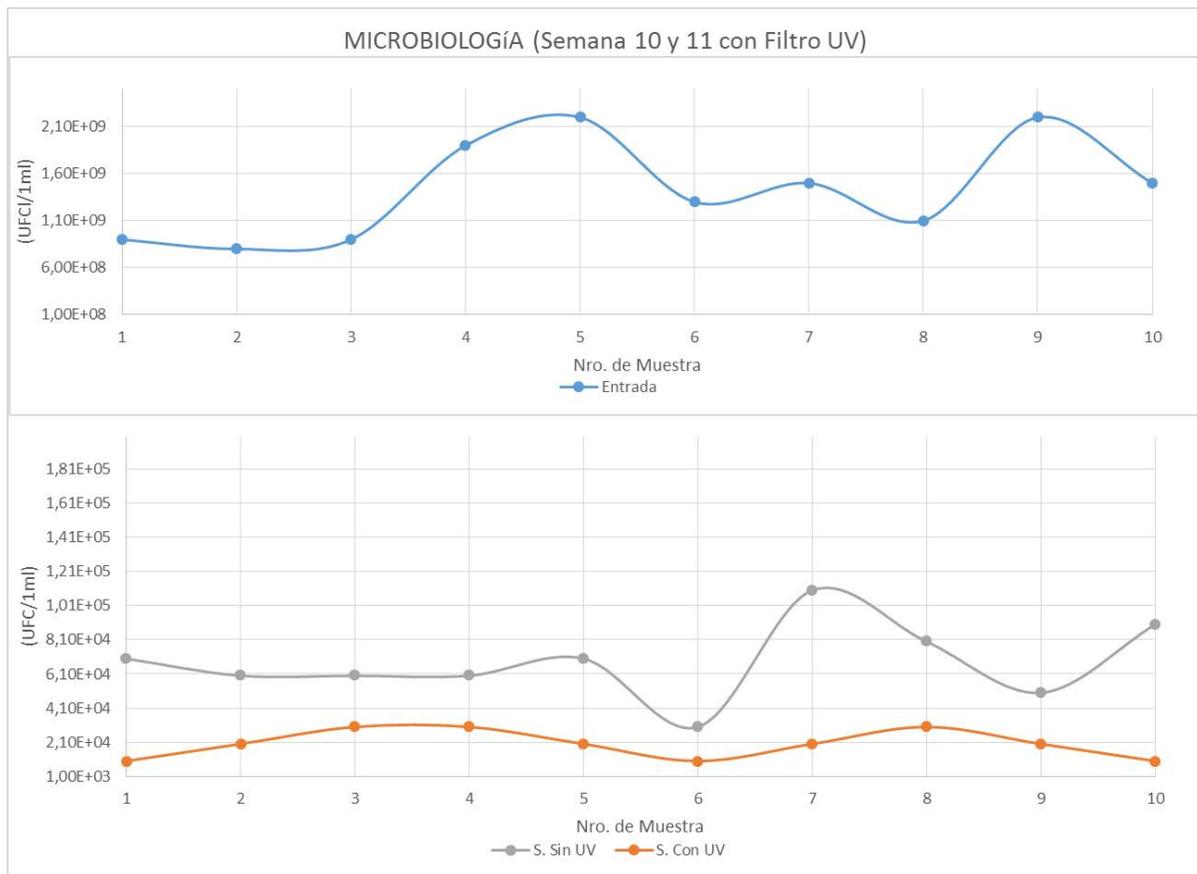
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

- **UFC coliformes fecales:** por las limitaciones de tiempo, se tomó la decisión de realizar ensayos basados en UFC, ya que permite verificar la eficiencia del tubo-UV en la desinfección con luz ultravioleta. Este método no permite verificar a que nivel de remoción se pudo llegar mediante la utilización de tubo-UV, ya que según el decreto 883 los valores de remoción se muestran en NMP, y para poder llegar a una conclusión viable sería necesario realizar un estudio de comparación previo para deducir una ecuación empírica que permita relacionar los valores obtenidos de UFC con los NMP.

En las gráficas se puede observar la variación entre la carga que tiene el agua sin pasar por el tubo UV con respecto a la que tuvo tratamiento UV; esto demuestra que aún cuando las cargas contaminantes eran sumamente elevadas, el tubo de rayo ultravioleta fue capaz de ofrecer la principal remoción microbiana, por lo que se considera primordial en la remoción de cargas contaminantes.



**ANÁLISIS DE RESULTADOS**



**Entrada**= Agua residual pre-sedimentada | **S. Con UV**= Salida con tratamiento UV | **S. Sin UV**= Salida sin tratamiento UV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

**4.4 Resultados Cualitativo**

En la siguiente foto, se puede apreciar el cambio ocurrido en los diferentes procesos que conforman el sistema.



*Figura 18. Muestras de aguas según el punto de toma en el sistema RBS.*

**Fuente:** Foto Tomada en el Laboratorio de Sanitaria.

La primera a la izquierda es la muestra de agua cruda, la segunda de izquierda a derecha (E.Tanque) es la muestra tomada después de presedimentada, la tercera (S) es la salida del sistema después de 24hrs. con recirculación sin el tratamiento UV, y la cuarta de izquierda a derecha (agua UCAB) es una muestra tomada de uno de los chorros que sale en el laboratorio de sanitaria del edificio de laboratorios.

Cabe destacar que la muestra (S) no presenta ningún tipo de olor desagradable y visualmente casi incolora.

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos realizados a las muestra durante el período de análisis, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. El sistema unificado resultado de la combinación de un tanque RBS de operaciones físico-biológicas (sedimentación y biofiltración) con un sistema de recirculación continua, y sistema de luz ultra violeta cumplen con el propósito de generar un efluente final apto para su reuso como riego de jardines y zonas verdes dentro de la instalación escolar. Podrá cumplir como utilización para el servicio de una segunda línea de agua depurada que servirá de alimentación de inodoros dentro de la instalación escolar, siempre y cuando se verifique que la presencia de luz ultravioleta cumple con la eliminación de coliformes fecales que puedan quedar presentes en el agua depurada justo antes de su disposición final.
2. La utilización de varios métodos y procesos de depuración como los son desbaste, sedimentadores de placas inclinadas, biofiltro (lecho fijo) y desinfección con rayos UV como una unidad compacta es totalmente viable para su construcción a una escala real.
3. El sistema produce un efluente que cumple con los parámetros en estudio que fueron analizados y que pudieron ser comparados únicamente con un agua tipo 1B en función de parámetros medidos, así como la disposición final de vertidos líquidos a un cuerpo de agua, según la Gaceta oficial Decreto 883 referido a las "Normas para la Planificación y Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o efluentes Líquidos" de la República de Venezuela (1995). Haciendo la acotación que la parte microbiológica no se verificó en MNP sino se realizó en UFC.

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4. Se pudo comprobar la eficiencia el tubo-UV como sistema de remoción de coliformes fecales más no se pudo evaluar este parámetro contra los valores exigidos según la Gaceta oficial Decreto 883, ya que los mismo son valores que se muestran en UFC/ml y el decreto exige valores que se muestran en NMP/100ml
5. El sistema de luz ultravioleta debe contar con un mayor tiempo de contacto con el agua depurada para una mayor remoción de microorganismos.
6. La recirculación adoptada para el sistema, cumplió su función principal que fue mantener viva la biopelícula dentro del biofiltro de lecho fijo durante las horas en que el sistema no contaba con la entrada del efluente a depurar.
7. La sedimentación con placas inclinadas funcionó con una inclinación distinta a la teóricamente recomendada y esto se debe a la forma en que se manejó el flujo dentro del reactor brindándole facilidad a la hora de sedimentar las partículas existentes en el agua.
8. Los lodos recolectados dentro del reactor son pocos debido a la presedimentación y una vez removidos pueden ser utilizados como abono.

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES****5.2 Recomendaciones**

1. Se puede hacer uso de paneles solares a fin de minimizar el requerimiento de energía necesitado por el sistema RBS para así hacerlo más sustentable.
2. Se puede construir tubo-UV con led de luz ultravioleta (ya existente en el mercado) estos led permiten un ahorro considerable de energía y su vida útil es mucho mayor.
3. Es importante hacer uso de los sistemas de control como los son válvulas de flotación dentro del tanque RBS, así como instalar sistema de rebose para evitar que haya desbordamiento del sistema.
4. Se debe realizar un estudio del contenido de grasa y aceites que contiene el efluente de la instalación escolar a depurar, para poder determinar si es necesario la incorporación de una trampa-grasa a la entrada del reactor para conservar la eficacia del sistema.
5. Este RBS también puede ser utilizado en viviendas y todas aquellas instituciones de uso público, cuya agua este constituida por aguas grises generadas por procesos de un hogar, tales como: las aguas de la cocina, el lavado de utensilios, de ropa, así como la higiene personal, y por las aguas negras que son aquellas que están contaminadas con sustancias fecales y orina, procedentes de vertidos orgánicos humanos y animales.



## GLOSARIO

- **Afluente:** Incorporación de caudal aportado por uno más cauces, hacia otro de mayor envergadura.
- **Aguas Servidas:** aguas utilizadas o residuales provenientes de una comunidad, industria, granja u otro establecimiento, con contenido de materiales disueltos y suspendidos.
- **Biomasa:** 1. Materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen. 2. Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.
- **Carga:** (Load), es el producto del resultado de multiplicar el caudal por la DBO correspondiente. Y se caracteriza por utilizar la letra “L” para los cálculos.
- **Clarificación:** remoción de turbiedad y color del agua.
- **Cloración:** es el procedimiento de desinfección de aguas mediante el empleo de cloro o compuestos clorados. Se puede emplear gas cloro, pero normalmente se emplea hipoclorito de sodio (lejía) por su mayor facilidad de almacenamiento y dosificación.
- **Coagulación:** es un proceso que permite incrementar la tendencia de las partículas de agregarse unas a otras para formar partículas mayores y así precipitar más rápidamente. Los coagulantes son agentes que ayudan a la precipitación. Muchas partículas, como los coloides son sustancias tan pequeñas que no sedimentarán en un tiempo razonable y además no pueden ser eliminadas por filtración.
- **Creatinina:** es un compuesto orgánico generado a partir de la degradación de la creatina (que es un nutriente útil para los músculos). Es un producto de desecho del metabolismo normal de los músculos que usualmente es producida por el cuerpo en una tasa muy constante (dependiendo de la masa de los músculos), y normalmente filtrada por los riñones y excretada en la orina.

## GLOSARIO

- **DBO<sub>5,20</sub>:** es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación; normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción a 20 °C.
- **Depuración:** Eliminación de la suciedad o impurezas de una sustancia.
- **Depuración de aguas residuales:** Conjunto de operaciones a que son sometidas las aguas residuales de las poblaciones o industrias para eliminar impurezas, antes de verterlas al medio ambiente (ríos, mares).
- **Diseño:** se define como el proceso previo de configuración mental, "pre-figuración", en la búsqueda de una solución en cualquier campo. Utilizado habitualmente en el contexto de la industria, ingeniería, arquitectura, comunicación y otras disciplinas creativas.
- **DQO:** es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación.
- **Efluente:** La salida o flujos salientes de cualquier sistema que despacha flujos de agua, a un tanque de oxidación, a un tanque para un proceso de depuración biológica del agua, etc. Este es el agua producto dada por el sistema.
- **Escherichia Coli:** Escherichia coli (E. coli) es quizás el organismo procarionte más estudiado por el ser humano, se trata de una bacteria que se encuentra generalmente en los intestinos animales (incluido el humano) y por ende en las aguas negras. Coliforme fecal.
- **Floculación:** Consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados, con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesario para sedimentar con facilidad. La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerzas óptimas.

GLOSARIO

- **Fotólisis:** Ruptura que, sufre una molécula debido al efecto de la luz.
- **Influyente:** Sinónimo de afluente, por su término en inglés. (inflow). “afluente a, afluencia”
- **Lechos Bacterianos:** también denominados filtros biológicos o filtros percoladores. Están basados en los procesos biológicos aerobios.
- **Líquidos miscibles:** que se pueden mezclar entre ellos.
- **Mitigar:** Disminuir la intensidad, la gravedad o la importancia de algo.
- **Modelación:** Formar o configurar el carácter de acuerdo con unos rasgos o principios determinados. Es un instrumento de trabajo que supone una aproximación intuitiva a la realidad y que tiene por función básica la de ayudar a comprender las teorías y las leyes. La aplicación del método de la modelación está íntimamente relacionada con la necesidad de encontrar un reflejo mediatizado de la realidad objetiva
- **Población Equivalente (PE):** población estimada que contribuiría con una cantidad determinada de un parámetro específico, indicador de contaminación ( $DBO_{5,20}$  en el caso de contaminación orgánica, microorganismos coliformes en contaminación microbiana). Las conversiones de carga orgánica a PE se basarán en una contribución de 54 g de  $DBO_{5,20}$ /persona/día, las de carga microbiana en NMP (Número Más Probable)/per cápita/día de 2000 coliformes.
- **Polución:** Contaminación intensa y dañina del agua, del aire o del medio ambiente, producida por los residuos de procesos industriales o biológicos.
- **Reactor:** Aparato en el que se lleva a cabo una reacción.
- **Simbiosis:** Asociación en la que dos organismos de especies diferentes se asocian para beneficiarse mutuamente en su desarrollo vital.

## GLOSARIO

- **Sustentable:** se refiere a los sistemas biológicos que pueden conservar la diversidad y la productividad a lo largo del tiempo o bien, la capacidad de satisfacer necesidades de la generación humana actual sin que esto suponga la anulación de que las generaciones futuras también puedan satisfacer las necesidades propias.
- **Urea:** compuesto orgánico, incoloro, soluble en agua y en alcohol. Principal componente nitrogenado de la orina.
- **Vertido Líquido:** descarga de aguas residuales que se realice directa o indirectamente a los cauces mediante canales, desagües o drenajes de agua, descarga directa sobre el suelo o inyección en el subsuelo, descarga a redes cloacales, descargas al medio marino-costero y descargas submarinas.

**BIBLIOGRAFÍA**

**BIBLIOGRAFÍA**

ASAPCHI, J. 1971. “*Manual de Prácticas de Ingeniería Sanitaria*”. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.

CASTELLANO, K. Y DE SANTIS, C. (2008). “*Evaluación Funcional de un Modelo Experimental de Depuración Sustentable de aguas servidas domiciliarias (UDSAS) en el Laboratorio de Aguas de la Escuela de Ingeniería Civil de La Universidad Católica Andrés Bello*”. Trabajo Especial de Grado, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.

CHACÓN, G. Y JIMÉNEZ, J. (2009). “*Diseño, Construcción y Evaluación de un Nuevo Esterilizador de Agua UV TUBE-UCAB para Aguas Servidas Domiciliarias Pretratadas con Caudales de hasta 15 Litros por Minutos*”. Trabajo Espacial de Grado, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.

CHERNICHARO, C. MACHADO, R. (1997). Feasibility Of The UASB/Af System for Domestic Sewage Treatment in Developing Countries. En: Water Science and Technology, Volume 38, Number 8-9. Pp. 325 – 332.

CANO, R. Y PALACIOS, J. (2013). “*Desarrollo de Biofiltro con Soporte de Plástico para el Tratamiento de Aguas residuales Domesticas de la Espammfl*”. Trabajo Espacial de Grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Caracas.

CARRILLO G., MARCIALES L. (Enero, 1998). Guía de aguas y líquidos residuales y ensayos de laboratorio. UCV, Caracas.

CZYSZ, W. Y SCHNEIDER, W. (1991). Manual de Disposición de Aguas Residuales. “*Origen, Descarga, Tratamiento y Análisis de las Aguas Residuales*”. Tomo I y Tomo II. Organización Mundial de la Salud. Lima, Perú.

## BIBLIOGRAFÍA

- Folleto informativo de tecnología de aguas residuales “Desinfección con luz ultravioleta” EPA, (Septiembre,1999). Obtenido el 11 de Enero del 2015 en [http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004\\_07\\_07\\_septics\\_cs-99-064.pdf](http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004_07_07_septics_cs-99-064.pdf)
- GARCÍA, I., GONZÁLES, V., DALMAU, Z., MARTINES, D., PONT, L. (2009). Guías de sostenibilidad en la edificación residencial. “AGUA” Obtenido el 20 de Noviembre de 2014 en <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0551274.pdf>
- INAGA. Proyecto ajustado al Artículo 42° de la LOCTI. Propuesta del Departamento de Ingeniería Sanitaria Ambiental. ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL. FACULTAD DE INGENIERÍA. UCAB, Caracas.
- INE. “Instituto nacional de estadística” tabulaciones básicas. Condición de ocupación. Obtenido el 19 de Febrero de 2015 en <http://www.redatam.ine.gob.ve/Censo2011/index.html>
- ING. ROMERO, J. (1999) “*Calidad del agua*” Escuela Colombiana de Ingeniería. 2ª. Edición.
- ING. ROMERO, J. (2000) “*Purificación del agua*” Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ley Orgánica del Ambiente. (2006). “*Gaceta Oficial N° 5.833 de la República Bolivariana de Venezuela*”. Extraordinario.
- Ley de Aguas. (2007). “*Gaceta Oficial N° 38.595 de la República Bolivariana de Venezuela*”.
- MERINO, O. Y SAL, F. (2004). “Sistemas de Recirculación y Tratamiento de agua” Obtenido el 13 de Enero de 2015 en [http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/acuicultura/01=cultivos/03-otros\\_sistemas/\\_archivos/000003-Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20de%20agua.pdf](http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/acuicultura/01=cultivos/03-otros_sistemas/_archivos/000003-Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20de%20agua.pdf)
- METCALF & EDDY. (1972). “*Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse*”. Third Edition, Estados Unidos de América, Mc Graw Hill, Inc.

## BIBLIOGRAFÍA

NORDELL, E. (1965). “Tratamiento de Agua para la Industria y otros usos” Editorial Continental. 2ª. Edición. México

Norma Sanitaria de Calidad de Agua Potable. (1998). “*Gaceta Oficial N° 36.395 de la República Bolivariana de Venezuela*”.

Normas Sanitarias para proyecto, construcción, reparación, reforma y manteniendo de edificaciones. (1988). “*Gaceta Oficial N° 4044-1988 de la República Bolivariana de Venezuela*”. Extraordinario.

Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. (1995). “*Decreto 883 de la República Bolivariana de Venezuela*”. Extraordinario.

Organización Mundial de la salud. (2007). “*Datos Básicos de Cobertura en Agua Potable y Saneamiento para la Región de las Américas*” Obtenido el 11 de Febrero de 2015 en <http://www.bvsde.paho.org/AyS2004/aguayS2004.html>

PEREIRA, P. (2004). “*Manual de Práctica de Laboratorio de Ingeniería Sanitaria*” Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.

PNUMA. (2004). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. “Lineamientos sobre el Manejo de Aguas Residuales Municipales” Obtenido el 20 de Noviembre de 2014 en [http://esa.un.org/iys/docs/san\\_lib\\_docs/lineamientos\\_sobre\\_el\\_manejo\\_spanish.pdf](http://esa.un.org/iys/docs/san_lib_docs/lineamientos_sobre_el_manejo_spanish.pdf)

RODRÍGUEZ, A., GARCÍA, P., ROSAL, R., DORADO, M., VILLAR, S., SANZ, J. (2006). Ciencia y Tecnología de la Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid. “*Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales*” Obtenido el 13 de Enero de 2015 en [http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt2\\_tratamientos\\_ava\\_nzados\\_de\\_aguas\\_residuales\\_industriales.pdf](http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt2_tratamientos_ava_nzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf)



### **BIBLIOGRAFÍA**

STANDARD METHODS. (1998). “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”. 20<sup>th</sup> Ed. American Public Health Association (APHA). American Water Works Association (AWWA), Washington D.C.



## **ANEXOS**



ANEXOS**ANEXO A. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA.**

## Capítulo IX

## De los Derechos Ambientales

**Artículo 127.** Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, genética, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica. El genoma de los seres vivos no podrá ser patentado, y la ley que se refiera a los principios bioéticos regulará la materia.

Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley.

**Artículo 128.** El Estado desarrollará una política de ordenación del territorio atendiendo a las realidades ecológicas, geográficas, poblacionales, sociales, culturales, económicas, políticas, de acuerdo con las premisas del desarrollo sustentable, que incluya la información, consulta y participación ciudadana. Una ley orgánica desarrollará los principios y criterios para este ordenamiento.

**Artículo 129.** Todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañadas de estudios de impacto ambiental y socio cultural. El Estado impedirá la entrada al país de desechos tóxicos y peligrosos, así como la fabricación y uso de armas nucleares, químicas y biológicas. Una ley especial regulará el uso, manejo, transporte y almacenamiento de las sustancias tóxicas y peligrosas.

En los contratos que la República celebre con personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, o en los permisos que se otorguen, que involucren los recursos naturales, se considerará incluida aun cuando no estuviera expresa, la obligación de conservar el equilibrio ecológico, de permitir el acceso a la tecnología y la transferencia de la misma en condiciones mutuamente convenidas y de restablecer el ambiente a su estado natural si éste resultara alterado, en los términos que fije la ley.

*ANEXO B. Ley Orgánica del Ambiente*

**TÍTULO IV**

**DE LA EDUCACIÓN AMBIENTAL Y LA PARTICIPACIÓN CIUDADANA**

**Capítulo I**

**De la Educación Ambiental**

**Objeto**

**Artículo 34.** La educación ambiental tiene por objeto promover, generar, desarrollar y consolidar en los ciudadanos y ciudadanas conocimientos, aptitudes y actitudes para contribuir con la transformación de la sociedad, que se reflejará en alternativas de solución a los problemas socioambientales, contribuyendo así al logro del bienestar social, integrándose en la gestión del ambiente a través de la participación activa y protagónica, bajo la premisa del desarrollo sustentable.

**Formas asociativas en la gestión del ambiente**

**Artículo 42.** Las organizaciones ambientalistas, los pueblos y comunidades indígenas, los consejos comunales, las comunidades organizadas y otras formas asociativas, podrán desarrollar proyectos enmarcados en una gestión del ambiente compartida y comprometida con la conservación de los ecosistemas, los recursos naturales y el desarrollo sustentable bajo las modalidades de la autogestión y cogestión.

**Capacidad de regeneración o recuperación**

**Artículo 50.** El aprovechamiento de los recursos naturales y de la diversidad biológica debe hacerse de manera que garantice su sustentabilidad

**Capítulo III**

**De los demás Elementos del Ambiente**

**Gestión integral del agua**

**Artículo 55.** La gestión integral del agua está orientada a asegurar su conservación, garantizando las condiciones de calidad, disponibilidad y cantidad en función de la sustentabilidad del ciclo hidrológico.

**Conservación de la calidad del agua**

**Artículo 57.** Para la conservación de la calidad del agua se tomarán en consideración los siguientes aspectos:

- La reutilización de las aguas residuales previo tratamiento.

**ANEXOS****Prevención y control**

**Artículo 63.** A los fines de la conservación, prevención, control de la contaminación y degradación de los suelos y del subsuelo, las autoridades ambientales deberán velar por:

- La utilización de prácticas adecuadas para la manipulación de sustancias químicas y en el manejo y disposición final de desechos domésticos, industriales, peligrosos o de cualquier otra naturaleza que puedan contaminar los suelos.

*ANEXO C. Ley de Aguas*

**TÍTULO II**

**DE LA CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE LAS AGUAS**

**Capítulo I**

**Disposición General**

**Conservación y aprovechamiento sustentable**

**Artículo 10.** La conservación y aprovechamiento sustentable de las aguas tiene por objeto garantizar su protección, uso y recuperación, respetando el ciclo hidrológico, de conformidad con lo establecido en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, en esta Ley y en las demás normas que las desarrollen.

**Capítulo II**

**De la protección, uso y recuperación de las aguas**

**Criterios para garantizar disponibilidad en cantidad**

**Artículo 11.** Para asegurar la protección, uso y recuperación de las aguas, los organismos competentes de su administración y los usuarios y usuarias deberán ajustarse a los siguientes criterios:

2. El uso eficiente del recurso.
3. La reutilización de aguas residuales.

**Capítulo III**

**Del control y manejo de los cuerpos de agua**

**Formas de control y manejo**

**Artículo 12.** El control y manejo de los cuerpos de agua se realizará mediante:

6. La elaboración y ejecución de programas maestros de control y manejo de los cuerpos de agua, donde se determinen las relaciones causa-efecto entre fuentes contaminantes y problemas de calidad de aguas, las alternativas para el control de los efluentes existentes y futuros, y las condiciones en que se permitirán sus vertidos, incluyendo los límites de descargas máxicas para cada fuente contaminante y las normas técnicas complementarias que se estimen necesarias para el control y manejo de los cuerpos de aguas.

La clasificación de los cuerpos de agua y la aprobación de los programas maestros de control y manejo de los mismos, las cuales se podrán realizar conjunta o separadamente con los planes de gestión integral de las aguas en el ámbito de las cuencas hidrográficas.

ANEXOS**Obligaciones de los generadores de efluentes**

**Artículo 13.** Los generadores de efluentes líquidos deben adoptar las medidas necesarias para minimizar la cantidad y mejorar la calidad de sus descargas, de conformidad con las disposiciones establecidas de esta Ley y demás normativas que la desarrolle.

**Artículo 124.** Toda persona natural o jurídica, pública o privada, será sancionada con una multa de cincuenta unidades tributarias (50 U.T.) a cinco mil unidades tributarias (5.000 U.T.), si en contravención a lo dispuesto en esta Ley, su reglamento, en las normas técnicas sobre la materia realiza cualquiera de las siguientes actividades:

2. Descargue, infiltre o inyecte en el suelo o subsuelo vertidos líquidos contaminantes.
5. Disuelva efluentes con agua a objeto de cumplir con los parámetros establecidos.
6. Efectúe descargas submarinas de vertidos incumpliendo las normativas técnicas.

**ANEXO D.** Decreto N°883

**CAPITULO II**

**De la clasificación de las aguas**

**Artículo 3°:** Las aguas se clasifican en:

**Tipo 1** Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.

Las aguas del tipo 1 se desagregan en los siguientes sub-tipos:

Sub-Tipo 1 <sup>a</sup>	Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.
Sub-Tipo 1B	Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.
Sub-Tipo 1C	Aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional.

**Artículo 4°.** A los efectos de esta Norma, se establecen los siguientes criterios para la clasificación de las aguas, así como los niveles de calidad exigibles de acuerdo con los usos a que se destinen:

1. Las aguas del sub-tipo 1A son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto ( O.D )	Mayor de 4,0 mg/l. (*)
pH	Mínimo 6,0 y máximo 8,5.
Color real	Menor de 50, U Pt-Co.
Turbiedad	Menor de 25, UNT
Fluoruros	Menor de 1,7 mg/l
Organismos coliformes totales	Promedio mensual menor a 2000 NMP por cada 100 ml.

\*Este valor también se podrá expresar como porcentaje de saturación, el cual debe ser mayor de 50%

2. Las aguas del sub-tipo 1B son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto ( O.D )	Mayor de 4,0 mg/l. (*)
pH	Mínimo 6,0 y máximo 8,5

**ANEXOS**

Color real	Menor 150, U Pt-Co.
Turbiedad	Menor de 250, UNT.
Fluoruros	Menor de 1,7 mg/l.
Organismos coliformes totales	Promedio mensual menor a 10000 NMP por cada 100 ml.

\*Este valor también se podrá expresar como porcentaje de saturación, el cual debe ser mayor de 50%

3. Las aguas de los sub-tipo 1A y 1B no deberán exceder, además, los siguientes límites:

<b>Elementos o Compuestos</b>	<b>Límites</b>
Aceites minerales	0,3 mg/l
Aluminio	0,2 mg/l
Arsénico total	0,05 mg/l
Bario total	1,0 mg/l
Cadmio total	0,01 mg/l
Cianuro total	0,1 mg/l
Cloruros	600 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Cromo total	0,05 mg/l
Detergentes	1,0 mg/l
Dispersantes	1,0 mg/l
Dureza, expresada como CaCO <sub>3</sub>	500 mg/l
Extracto de carbono al cloroformo	0,15 mg/l
Fenoles	0,002 mg/l
Hierro total	1,0 mg/l
Manganeso total	0,1 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Nitritos + Nitratos (N)	10,0 mg/l
Plata total	0,05 mg/l
Plomo total	0,05 mg/l
Selenio	0,01 mg/l
Sodio	200 mg/l
Sólidos disueltos totales	1500 mg/l
Sulfatos	400 mg/l
Zinc	5,0 mg/l

<b>Biocidas</b>	
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/l
Organoclorados	0,2 mg/l

**ANEXOS**

<b>Radiactividad</b>	
Actividad $\alpha$	Máximo 0,1 Becquerelio por litro (Bq/l)
Actividad $\beta$	Máximo 1,0 Becquerelio por litro (Bq/l)

4. Las aguas del Sub-Tipo 1C son aquellas en las cuales el pH debe estar comprendido entre 3,8 y 10,5.

**SECCIÓN II**

De la clasificación de los constituyentes en los vertidos líquidos

Artículo 9º: Los constituyentes de los vertidos líquidos se agrupan en dos categorías:

I.- GRUPO I: Sustancias para las cuales existe evidencia teórica o práctica de su efecto tóxico, agudo o crónico:

- 1.- Compuestos organohalogenados y sustancias que puedan dar origen a compuestos de este tipo en el medio acuático.
- 2.- Compuestos organofosfóricos.
- 3.- Sustancias cancerígenas.
- 4.- Mercurio y compuestos de mercurio.
- 5.- Cadmio y compuestos de cadmio.
- 6.- Aceites minerales persistentes e hidrocarburos derivados del petróleo, de lenta descomposición.
- 7.- Metaloides, metales y sus compuestos de la siguiente lista:  
Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Selenio, Talio, Telurio, Titanio, Uranio, Vanadio y Zinc.
- 8.- Biocidas y sus derivados.
- 9.- Compuestos organosilícicos tóxicos o persistentes.
- 10.- Cianuros y fluoruros.
- 11.- Sustancias radiactivas.
- 12.- Sustancias sintéticas persistentes que puedan flotar, permanecer suspendidas o sedimentar perjudicando cualquier uso de las aguas.

Parágrafo Primero: Los límites de descarga del primer grupo deberán cumplirse, sin excepción, para todas las descargas a cuerpos de agua, medio marino-costero y submarino, redes cloacales y para disposición directa sobre el suelo. Asimismo, deberán cumplirse para la infiltración en el subsuelo, salvo en los casos expresamente previstos en esta Norma. El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables determinará los límites para sustancias que no los tengan fijados, en función de los estudios que presente el administrado.

**SECCIÓN III**

De las descargas a cuerpos de agua

**Artículo 10:** A los efectos de este Decreto se establecen los siguientes rangos y límites máximos de calidad de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses:

<b>Parámetros Físico-Químicos</b>	<b>Límites máximos o rangos</b>
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l

**ANEXOS**

Aceites y grasas vegetales y animales	20 mg/l
Alkil Mercurio	No detectable (*)
Aldehidos	2,0 mg/l
Aluminio total	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Boro	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cloruros	1000 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Color real	500 Unidades de Pt-Co.
Cromo total	2,0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5,20</sub> )	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DBO)	350 mg/l
Detergentes	2,0 mg/l
Dispersantes	2,0 mg/l
Espuma	Ausente
Estaño	5,0 mg/l
Fenoles	0,5 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo total (expresado como fósforo)	10 mg/l
Hierro total	10 mg/l
Manganeso total	2,0 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	40 mg/l
Nitritos + Nitratos (expresados como nitrógeno)	10 mg/l
pH	6 – 9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,05 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos suspendidos	80 mg/l
Sólidos sedimentables	1,0 mg/l
Sulfatos	1000 mg/l
Sulfitos	2,0 mg/l
Sulfuros	0,5 mg/l
Zinc	5,0 mg/l

**ANEXOS**

<b>Biocidas</b>	
Organo fosforados y Carbamatos	0,25 mg/l
Organo clorados	0,05 mg/l

\* Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables

<b>Radiactividad</b>	
Actividad $\alpha$	Máximo 0,1 Bq/l
Actividad $\beta$	Máximo 1,0 Bq/l

**Parámetros Biológicos**

Número más probable de organismos coliformes totales no mayores de 1.000 por cada 100 ml, en el 90% de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso será superior a 5.000 por cada 100 ml.

Parágrafo Primero: En ríos la variación de la temperatura media de una sección fluvial en la zona de la mezcla, comparada con otras aguas arriba de la descarga del vertido líquido, no superará los 3°C. En lagos y embalses la diferencia de temperatura del vertido con respecto al cuerpo de agua receptor no superará los 3°C.

*ANEXO E. Foto de Colocación de tanque almacenador y el tanque compensador principal A*



Tanque  
Compensador A



Tanque  
Almacenador

**ANEXOS**

*ANEXO F. Medición mediante el pHmetro.*

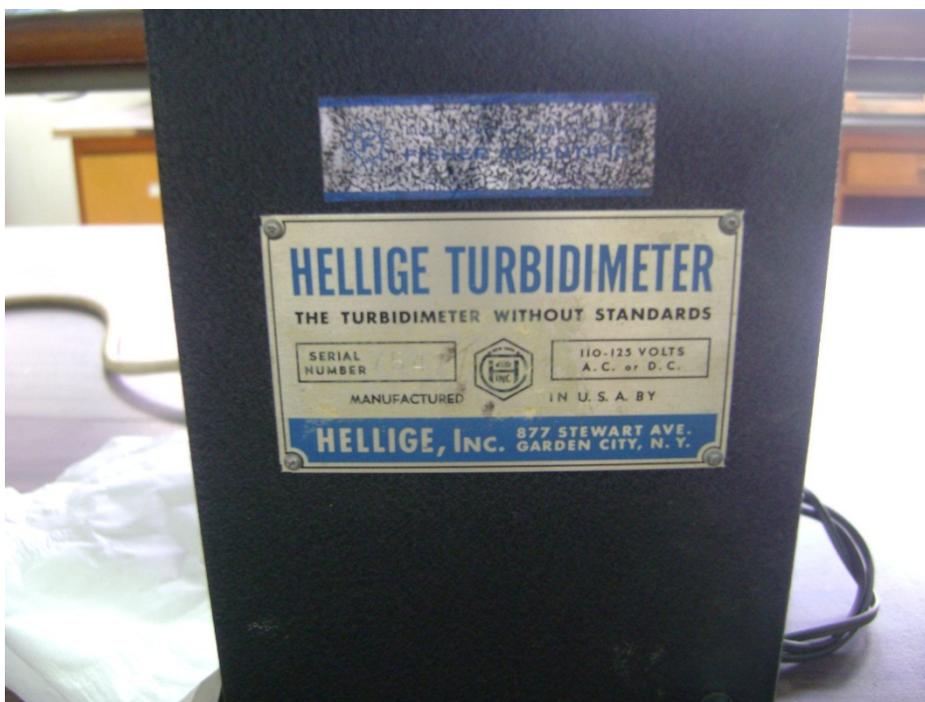


*ANEXO G. Determinación de color real mediante el uso de un aparato con discos pre-calibrados.*



**ANEXOS**

**ANEXO H.** *Aparato utilizado para la determinación de turbiedad (Turbidímetro).*



**ANEXOS**

*ANEXO I. Medición mediante el medidor multiparamétrico para Sólidos disueltos totales y Conductividad.*



*ANEXO J. Determinación de la DBO 5,20.*

**PROCEDIMIENTO**

1. A la muestra de 300ml contenida en la botella de Winkler, agregar bien por debajo de la superficie del líquido, **1ml De Sulfato Manganoso, Seguido De 1ml De Yoduro Alcalino.**
2. Si el precipitado formado es blanco lechoso es indicativo de AUSENCIA de oxígeno, al ocurrir esto No continuar con la operación; si está teñido de marrón continuarla.
3. Mezclar 20 veces por inversión de la botella, para permitir la reacción completa.
4. Dejar asentar un poco el precipitado y mezclar de nuevo.
5. Dejar el frasco tapado en reposo hasta que el precipitado descienda hasta más o menos la mitad de la botella.
6. Destapar con cuidado y agregar 1ml de  $H_2SO_4$  concentrado, permitiendo al ácido descender desde las paredes del cuello de la botella de Winkler.
7. Tapar y mezclar por inversión hasta disolución y homogenización completa.
8. Vaciar 97ml del líquido homogenizado en el cilindro de 100ml.
9. Titular con la solución de tiosulfato, los restantes mililitros correspondientes a **200ml de la muestra original**, corregidos por la disolución que ocurre al agregar los reactivos.

Cálculo

Fórmula general:  $OD\ mg/l = ml\ gastados\ de\ Na_2S_2O_3\ 0,025\ N$

Fórmula para oxígeno disuelto inicial:  $OD,\ mg/l = ml\ gastados\ de\ Na_2S_2O_3\ 0,025\ N$

NOTA: el peso en gramo equivalente del oxígeno es 8.

- 1ml de  $Na_2S_2O_3\ 0,025\ N$  (en 1 litro de muestra) es igual a 0,2 mg/l de oxígeno.
- 1ml de  $Na_2S_2O_3\ 0,025\ N$  (en 200 ml de muestra, ósea, 5 veces más concentración), que es igual a 1,0 mg/l de oxígeno.

**ANEXO K. Determinación de DQO.**

**P  
R  
O  
C  
E  
D  
I  
M  
I  
E  
N  
T  
O**

1. Colocar 0,4g de sulfato de Mercurio  $HgSO_4$ , el cual puede ser medido convenientemente con una pipa especial y luego verter en un balón de 250 mL.
2. Agregar 20 mL de la muestra de agua residual y enseguida 10 mL de la solución patrón de Dicromato de potasio 0,25 N.
3. Agregar cuidadosamente en constante agitación 30 mL de la mezcla de ácido sulfúrico y sulfato de plata  $H_2SO_4 + Ag_2SO_4$
4. Agregar unas cuentas de vidrio para evitar ebulliciones tumultuosas. Homogenizar muy bien el contenido del balón antes de aplicar el fuego para evitar sobrecalentamientos locales en el fondo del balón, que podrían provocar explosión violenta del líquido fuera del condensador.
5. Unir el refrigerante al balón, abrir el agua de refrigeración y hervir por lo mínimo 2 horas.
6. Montar un blanco (testigo), igualmente se toman 20 mL de agua destilada, se le agregan todos los reactivos mencionados anteriormente en la misma proporción que fueron colocados en la muestra y hervir por 2 horas.
7. Dejar enfriar y sin desconectar, lavar el refrigerante con agua destilada (aproximadamente 80 mL), por la parte superior del mismo, hasta obtener un volumen total de 140 mL.
8. Titular el exceso de Dicromato con solución patrón de sulfato ferroso amoniacal, usando 3 gotas del indicador FERROÍN para indicar el vire neto de neutralización, de color verde azulado a rojo azulado.
9. Cuando se toman 50 mL de muestra se usa un balón de 500 mL, se agregan sucesivamente 25 mL de la solución de Dicromato 0,25N; 75 mL de  $H_2SO_4$  concentrado conteniendo el  $Ag_2SO_4$ ; 1g de  $HgSO_4$  y al final de la ebullición se lava el refrigerante con suficiente agua destilada para llevar el volumen total en el balón a 350 mL.

**Importante:** la cantidad de 0,4g de sulfato de mercurio  $HgSO_4$  es suficiente para neutralizar hasta 40 mg de cloruro en la muestra tomada. Si hubiere una cantidad mayor, se agrega más  $HgSO_4$  para mantener la relación 10:1 en peso entre el  $HgSO_4$  y el Cl.

**Cálculo:**

$$DQO \text{ en mg/L} = \frac{(a-b) \cdot c \cdot 8000}{\text{mL de la muestra de agua residual}}$$

Donde:

a: mL gastados  $Fe(NH_4)_2 (SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  de en la titulación del blanco.

b: mL gastados de  $Fe(NH_4)_2 (SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  en la titulación de la muestra.

c: normalidad de la solución de sulfato ferroso amoniacal  $Fe(NH_4)_2 (SO_4)_2 \cdot 6H_2O$

**ANEXOS**

**ANEXO L.** *Determinación de sólidos totales mediante uso de la balanza analítica (pesos de las muestras).*



**Procedimiento para el cálculo de sólidos totales.**

ANÁLISIS DE AGUAS. DETERMINACIONES FÍSICAS

11

te, una porción de la muestra de agua potabilizada o en periodo de potabilización. El residuo total comprende la totalidad de las sustancias disueltas o en solución y las no disueltas que se encuentran en suspensión o que estarán asentadas en el fondo del recipiente. O sea, analíticamente, las sustancias que atraviesan y las que son retenidas por el filtro de laboratorio, respectivamente.

Los sólidos pueden afectar adversamente la calidad del agua. Aguas con alto contenido de sólidos disueltos generalmente no presentan buen sabor y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor, alterando su sabor y esto provoca una desfavorable reacción en el consumidor. También estas aguas presentan diversos inconvenientes para su aplicación industrial y para riego. Los sólidos en suspensión afectan desfavorablemente la apariencia del agua. En general, con el tratamiento se mejora la calidad del agua.

En el presente se usan los términos «sólidos», «suspendidos», y «disueltos» para reemplazar los términos «residuos», «no filtrables» y «filtrables», respectivamente. Los factores principales que inciden en los valores de estas determinaciones son: la naturaleza, estado físico y cantidad del material en suspensión que se deposita en el filtro; la clase de filtro, su tamaño, grosor y porosidad de su malla; temperatura y tiempo de secamiento. Durante el secamiento hay transformaciones, y pérdidas por volatilización. Los bicarbonatos se concentran en formas más estables, perdiéndose CO<sub>2</sub>. A 103-105°C, casi no hay pérdida de materia orgánica y la mayor parte del agua ocluida es retenida; además de las temperaturas nombradas puede usarse 180°C.

**SÓLIDOS TOTALES**

(A 103-105°C) 80°C

20 ml de muestra

Objeto del Análisis

Conocer, usando una porción conocida de la muestra de agua, la totalidad de las sustancias suspendidas y disueltas que se obtienen al evaporarla y secarla.

**Método Gravimétrico**

*Principio:*

Se evapora en bañomaría o placa eléctrica de calor regulable, en una cápsula de platino o porcelana tarada, una porción medida de la muestra homogeneizada; secarla luego en el horno a la temperatura seleccionada, enfriarla y pesarla en balanza analítica. El aumento de peso sobre el del recipiente vacío corresponde al residuo de la muestra tomada y se expresa como residuo total en mg/L.

*Equipo:*

Cápsula de platino, porcelana o níquel de 150 ml de capacidad; placa eléctrica de calor regulable o bañomaría, horno eléctrico, desecador y balanza analítica.

*Procedimiento:*

- 1) Colocar la cápsula en el horno a 103-105°C por 1 hora.
- 2) Enfriar en el desecador y pesar en la balanza analítica inmediatamente antes de usar.
- 3) Colocar en el bañomaría hirviendo o en la placa eléctrica e ir agregando 250 mL de la muestra homogeneizada o una parte alícuota correspondiente, dependiendo de la cantidad de residuo esperado, el cual debe ser de 2,5 a 200 mg.
- 4) Una vez evaporado el líquido, limpiar muy bien la cápsula de cualquier adherencia por fuera y llevar al horno a 103-105°C por lo menos 1 hora.
- 5) Enfriar en el desecador y pesar.
- 6) Llevar de nuevo al horno a la misma temperatura por 30-40 minutos, enfriar y pesar; repetir este tratamiento hasta peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menos de 0,5 mg, o menos de 4% del peso anterior, el que sea menor.

*Cálculo:*

$$\text{Sólidos Totales en mg/L} = \frac{(A - B) \times 1.000}{\text{muestra mL}}$$

*ANEXO M. Determinación de sólidos sedimentables.*



*ANEXO N. Lupa para contar colonias (UFC) y procedimiento para el análisis de microbiología.*



**DECRETO 883.-**

**Artículo 41:** El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables llevará un Registro de Laboratorios Ambientales cuyas instalaciones y funcionamiento estén debidamente adecuados para efectuar, con un máximo de garantías, la captación y análisis de las muestras de los vertidos.

**Parágrafo Primero:** A los efectos de este Decreto sólo estarán autorizados para realizar las caracterizaciones de los efluentes los Laboratorios inscritos en el Registro.

**Parágrafo Segundo:** A los efectos del control de Laboratorios Ambientales el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables llevará el "Programa de Verificación de la Calidad Analítica de los Laboratorios Ambientales", cuyo costo será sufragado por dichos establecimientos.

**Parágrafo Tercero:** Los Laboratorios Ambientales a que se refiere este artículo llevarán a cabo todas las acciones de captación, preservación y análisis de las muestras mediante los procedimientos descritos en las Normas Venezolanas de Covenin o en su defecto en el manual "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", publicado por la American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, en su más reciente edición, u otro método equivalente aprobado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

**9215 HETEROTROPHIC PLATE COUNT\***

**9215 A. Introduction**

**1. Applications**

The heterotrophic plate count (HPC), formerly known as the standard plate count, is a procedure for estimating the number of live heterotrophic bacteria in water and measuring changes during water treatment and distribution or in swimming pools. Colonies may arise from pairs, chains, clusters, or single cells, all of which are included in the term "colony-forming units" (CFU). The final count also depends on interaction among the developing colonies; choose that combination of procedure and medium that produces the greatest number of colonies within the designated incubation time. To compare data, use the same procedure and medium. Three different methods and four different media are described.

**2. Selection of Method**

*a. Pour plate method:* The pour plate method (9215B) is simple to perform and can accommodate volumes of sample or diluted sample ranging from 0.1 to 2.0 mL. The colonies produced are relatively small and compact, showing less tendency to encroach on each other than those produced by surface growth. On the other hand, submerged colonies often are slower growing and are difficult to transfer. A thermostatically controlled water bath is essential for tempering the agar, but even so, significant heat shock to bacteria from the transient exposure of the sample to 45 to 46°C agar may occur.

*b. Spread plate method:* The spread plate method (9215C) causes no heat shock and all colonies are on the agar surface

where they can be distinguished readily from particles and bubbles. Colonies can be transferred quickly, and colony morphology easily can be discerned and compared to published descriptions. However, this method is limited by the small volume of sample or diluted sample that can be absorbed by the agar: 0.1 to 0.5 mL, depending on the degree to which the prepoured plates have been dried. To use this procedure, maintain a supply of suitable predried, absorbent agar plates.

*c. Membrane filter method:* The membrane filter method (9215D) permits testing large volumes of low-turbidity water and is the method of choice for low-count waters (< 1 to 10 CFU/mL). This method produces no heat shock but adds the expense of the membrane filter. Further disadvantages include the smaller display area, the need to detect colonies by reflected light against a white background if colored filters or contrast stains are not used, possible damage to cells by excessive filtration pressures, and possible variations in membrane filter quality (see Section 9020B.4h).

**3. Work Area**

Provide a level table or bench top with ample area in a clean, draft-free, well-lighted room or within a horizontal-flow laminar hood. Use table and bench tops having nonporous surfaces and disinfect before any analysis is made.

**4. Samples**

Collect water as directed in Section 9060A. Initiate analysis as soon as possible after collection to minimize changes in bacterial

\* Approved by Standard Methods Committee, 1994.

HETEROTROPHIC PLATE COUNT (9215)/Introduction

9-35

population. The recommended maximum elapsed time between collection and analysis of samples is 8 h (maximum transit time 6 h, maximum processing time 2 h). When analysis cannot begin within 8 h, maintain sample at a temperature below 4°C but do not freeze. Maximum elapsed time between collection and analysis must not exceed 24 h.

5. Sample Preparation

Mark each plate with sample number, dilution, date, and any other necessary information before examination. Prepare at least duplicate plates for each volume of sample or dilution examined. For the pour or spread plate methods use sterile glass (65 cm<sup>2</sup>) or presterilized disposable plastic (57 cm<sup>2</sup>) petri dishes.

Thoroughly mix all samples or dilutions by rapidly making about 25 complete up-and-down (or back-and-forth) movements. Optionally, use a mechanical shaker to shake samples or dilutions for 15 s.

6. Media

Compare new lots of media with current lot in use according to Section 9020B.4i.

a. *Plate count agar (tryptone glucose yeast agar)*: Use for pour and spread plate methods. This high-nutrient agar, widely used in the past, gives lower counts than R2A or NWRI agar. It is included for laboratories wishing to make comparisons of media or to extend the continuity of old data.

Tryptone .....	5.0 g
Yeast extract .....	2.5 g
Glucose .....	1.0 g
Agar .....	15.0 g
Reagent-grade water .....	1 L

pH should be 7.0 ± 0.2 after autoclaving at 121°C for 15 min.

b. *m-HPC agar*:<sup>†</sup> Use this high-nutrient medium only for the membrane filter method.

Peptone .....	20.0 g
Gelatin .....	25.0 g
Glycerol .....	10.0 mL
Agar .....	15.0 g
Reagent-grade water .....	1 L

Mix all ingredients except glycerol. Adjust pH to 7.1, if necessary, with 1N NaOH, heat slowly to boiling to dissolve thoroughly, add glycerol, and autoclave at 121°C for 5 min.<sup>‡</sup>

c. *R2A agar*: Use for pour, spread plate, and membrane filter methods. This low-nutrient agar gives higher counts than high-nutrient formulations.

Yeast extract .....	0.5 g
Proteose peptone No. 3 or polypeptone .....	0.5 g
Casamino acids .....	0.5 g
Glucose .....	0.5 g
Soluble starch .....	0.5 g
Dipotassium hydrogen phosphate, K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .....	0.3 g
Magnesium sulfate heptahydrate, MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O .....	0.05 g
Sodium pyruvate .....	0.3 g

<sup>†</sup> Formerly called m-SPC agar.

<sup>‡</sup> This medium may not be sterile; use with care to avoid contamination.

Agar .....	15.0 g
Reagent-grade water .....	1 L

Adjust pH to 7.2 with solid K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> or KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> before adding agar. Heat to dissolve agar and sterilize at 121°C for 15 min.

d. *NWRI agar (HPCA)*: Use for pour, spread plate, and membrane filter methods. This low-nutrient medium is likely to produce higher colony counts than high-nutrient media. It is not currently available in dehydrated form and requires preparation from the basic ingredients; this makes its usage less desirable.

Peptone .....	3.0 g
Soluble casein .....	0.5 g
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .....	0.2 g
MgSO <sub>4</sub> .....	0.05 g
FeCl <sub>3</sub> .....	0.001 g
Agar .....	15.0 g
Reagent-grade water .....	1 L

Adjust pH to 7.2 before autoclaving for 15 min at 121°C.

7. Incubation

For compliance monitoring purposes under U.S. EPA's Surface Water Treatment Rule (40 CFR 141.74), provision on heterotrophic bacteria, incubate pour plates at 35°C for 48 h. Otherwise, select from among recommended times and temperatures for monitoring changes in water quality. The highest counts typically will be obtained from 5- to 7-d incubation at a temperature of 20 to 28°C.

During incubation maintain humidity within the incubator so that plates will have no moisture weight loss greater than 15%. This is especially important if prolonged incubation is used. A pan of water placed at the bottom of the incubator may be sufficient but note that to prevent rusting or oxidation the inside walls and shelving should be of high-grade stainless steel or anodized aluminum. For long incubation in nonhumidified incubators, seal plates in plastic bags.

8. Counting and Recording

a. *Pour and spread plates*: Count all colonies on selected plates promptly after incubation. If counting must be delayed temporarily, store plates at 5 to 10°C for no more than 24 h, but avoid this as routine practice. Record results of sterility controls on the report for each lot of samples.

Use an approved counting aid, such as the Quebec colony counter, for manual counting. If such equipment is not available, count with any other counter provided that it gives equivalent magnification and illumination. Automatic plate counting instruments are available. These generally use a television scanner coupled to a magnifying lens and an electronics package. Their use is acceptable if evaluation in parallel with manual counting gives comparable results.

In preparing plates, pipet sample volumes that will yield from 30 to 300 colonies/plate. The aim is to have at least one dilution giving colony counts between these limits, except as provided below.

Ordinarily, do not pipet more than 2.0 mL of sample; however, when the total number of colonies developing from 2.0 mL is less than 30, disregard the rule above and record result observed. With

this exception, consider only plates having 30 to 300 colonies in determining the plate count. Compute bacterial count per milliliter by the following equation:

$$\text{CFU/mL} = \frac{\text{colonies counted}}{\text{actual volume of sample in dish, mL}}$$

If there is no plate with 30 to 300 colonies, and one or more plates have more than 300 colonies, use the plate(s) having a count nearest 300 colonies. Compute the count as above and report as estimated CFU per milliliter.

If plates from all dilutions of any sample have no colonies, report the count as less than one (< 1) divided by the corresponding largest sample volume used. For example, if no colonies develop from the 0.01-mL sample volume, report the count as less than 100 (< 100) estimated CFU/mL.

If the number of colonies per plate far exceeds 300, do not report result as "too numerous to count" (TNTC). If there are fewer than 10 colonies/cm<sup>2</sup>, count colonies in 13 squares (of the colony counter) having representative colony distribution. If possible, select seven consecutive squares horizontally across the plate and six consecutive squares vertically, being careful not to count a square more than once. Multiply sum of the number of colonies in 13 representative square centimeters by 5 to compute estimated colonies per plate when the plate area is 65 cm<sup>2</sup>. When there are more than 10 colonies/cm<sup>2</sup>, count four representative squares, take average count per square centimeter, and multiply by the appropriate factor to estimate colonies per plate. The factor is 57 for disposable plastic plates and 65 for glass plates. When bacterial counts on crowded plates are greater than 100 colonies/cm<sup>2</sup>, report result as greater than (>) 6500 divided by the smallest sample volume plated for glass plates or greater than (>) 5700 divided by the smallest sample volume plated for plastic plates. Report as estimated colony-forming units per milliliter.

If spreading colonies (spreaders) are encountered on the plate(s) selected, count colonies on representative portions only when colonies are well distributed in spreader-free areas and the area covered by the spreader(s) does not exceed one-half the plate area.

When spreading colonies must be counted, count each of the following types as one: a chain of colonies that appears to be caused by disintegration of a bacterial clump as agar and sample were mixed; a spreader that develops as a film of growth between the agar and bottom of petri dish; and a colony that forms in a film of water at the edge or over the agar surface. The last two types largely develop because of an accumulation of moisture at the point from which the spreader originates. They frequently cover more than half the plate and interfere with obtaining a reliable plate count.

Count as individual colonies similar-appearing colonies growing in close proximity but not touching, provided that the distance between them is at least equal to the diameter of the smallest colony. Count impinging colonies that differ in appearance, such as morphology or color, as individual colonies.

If plates have excessive spreader growth, report as "spreaders" (Spr). When plates are uncountable because of missed dilution, accidental dropping, and contamination, or the control plates indicate that the medium or other material or labware was contaminated, report as "laboratory accident" (LA).

*b. Membrane filter method:* Count colonies on membrane filters using a stereoscopic microscope at 10 to 15 × magnification. Preferably slant petri dish at 45° angle on microscope stage and adjust light source vertical to the colonies. Optimal colony density per filter is 20 to 200. If colonies are small and there is no crowding, a higher limit is acceptable.

Count all colonies on the membrane when there are ≤ 2 colonies per square. For 3 to 10 colonies per square count 10 squares and obtain average count per square. For 10 to 20 colonies per square count 5 squares and obtain average count per square. Multiply average count per square by 100 and divide by the sample volume to give colonies per milliliter. If there are more than 20 colonies per square, record count as > 2000 divided by the sample volume. Report averaged counts as estimated colony-forming units. Make estimated counts only when there are discrete, separated colonies without spreaders.

#### 9. Computing and Reporting Counts

The term "colony-forming units" (CFU) is descriptive of the methods used; therefore, report all counts as colony-forming units. Include in the report the method used, the incubation temperature and time, and the medium. For example: CFU/mL, pour plate method, 35°C/48 h, plate count agar.

To compute the heterotrophic plate count, CFU/mL, divide total number of colonies or average number (if duplicate plates of the same dilution) per plate by the sample volume. Record sample volumes used and number of colonies on each plate counted or estimated.

When colonies on duplicate plates and/or consecutive dilutions are counted and results are averaged before being recorded, round off counts to two significant figures only when converting to colony-forming units.

Avoid creating fictitious precision and accuracy when computing colony-forming units by recording only the first two left-hand digits. Raise the second digit to the next higher number when the third digit from the left is 5, 6, 7, 8, or 9; use zeros for each successive digit toward the right from the second digit. For example, report a count of 142 as 140 and a count of 155 as 160, but report a count of 35 as 35.

#### 10. Analytical Bias

Avoid inaccuracies in counting due to carelessness, damaged or dirty optics that impair vision, or failure to recognize colonies. Laboratory workers who cannot duplicate their own counts on the same plate within 5% and the counts of other analysts within 10% should discover the cause and correct such disagreements.

**9215 B. Pour Plate Method**

**1. Samples and Sample Preparation**

See 9215A.4 and 9215A.5.

**2. Sample Dilution**

Prepare water used for dilution blanks as directed in Section 9050C.

*a. Selecting dilutions:* Select the dilution(s) so that the total number of colonies on a plate will be between 30 and 300 (Figure 9215:1). For example, where a heterotrophic plate count as high as 3000 is suspected, prepare plates with  $10^{-2}$  dilution.

For most potable water samples, plates suitable for counting will be obtained by plating 1 mL and 0.1 mL undiluted sample and 1 mL of the  $10^{-2}$  dilution.

*b. Measuring sample portions:* Use a sterile pipet for initial and subsequent transfers from each container. If pipet becomes contaminated before transfers are completed, replace with a sterile pipet. Use a separate sterile pipet for transfers from each different dilution. Do not prepare dilutions and pour plates in direct sunlight. Use caution when removing sterile pipets from the container; to avoid contamination, do not drag pipet tip across exposed ends of pipets in the pipet container or across lips and necks of dilution bottles. When removing sample, do not insert pipets more than 2.5 cm below the surface of sample or dilution.

*c. Measuring dilutions:* When discharging sample portions, hold pipet at an angle of about  $45^\circ$  with tip touching bottom of petri dish or inside neck of dilution bottle. Lift cover of petri dish just high enough to insert pipet. Allow 2 to 4 s for liquid to drain from 1-mL graduation mark to tip of pipet. If pipet is not a blow-out type, touch tip of pipet *once* against a dry spot on petri dish bottom. Less preferably, use a cotton-plugged blow-out-type pipet and gently blow out remaining volume of sample dilution. When 0.1-mL quantities are measured, let diluted sample drain from

chosen reference graduation until 0.1 mL has been delivered. Remove pipet without retouching it to dish. Pipet 1 mL, 0.1 mL, or other suitable volume into sterile petri dish before adding melted culture medium. Use decimal dilutions in preparing sample volumes of less than 0.1 mL; in examining sewage or turbid water, do not measure a 0.1-mL inoculum of original sample, but prepare an appropriate dilution. Prepare at least two replicate plates for each sample dilution used. After depositing test portions for each series of plates, pour culture medium and mix carefully. Do not let more than 20 min elapse between starting pipetting and pouring plates.

**3. Plating**

*a. Melting medium:* Melt sterile solid agar medium in boiling water or by exposure to flowing steam in a partially closed container, but avoid prolonged exposure to unnecessarily high temperatures during and after melting. Do not resterilize plating medium. If the medium is melted in two or more batches, use all of each batch in order of melting, provided that the contents remain fully melted. Discard melted agar that contains precipitate.

Maintain melted medium in a water bath between  $44$  and  $46^\circ\text{C}$  until used, preferably no longer than 3 h. In a separate container place a thermometer in water or medium that has been exposed to the same heating and cooling as the plating medium. Do not depend on the sense of touch to indicate proper medium temperature when pouring agar.

Use plate count agar, R2A agar, or NWRI agar as specified in Section 9215A.6. Before using a new lot of medium test its suitability.

*b. Pouring plates:* Limit the number of samples to be plated in any one series so that no more than 20 min (preferably 10 min) elapse between dilution of the first sample and pouring of the last plate in the series. Pour at least 10 to 12 mL liquefied medium

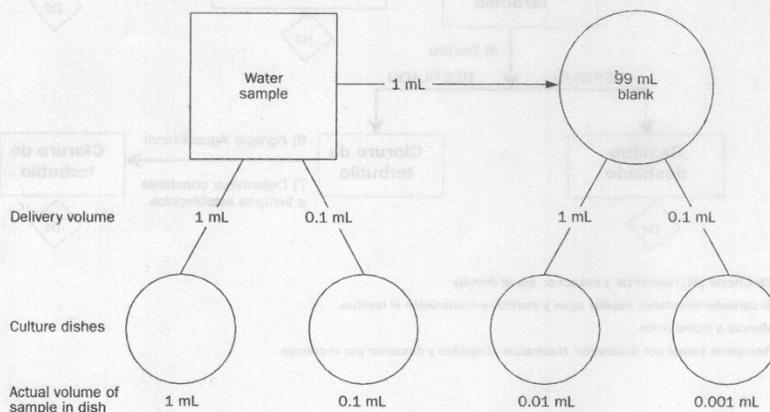


Figure 9215:1. Preparation of dilutions.

9-38 MICROBIOLOGICAL EXAMINATION (9000)

maintained at 44 to 46°C into each dish by gently lifting cover just high enough to pour. Carefully avoid spilling medium on outside of container or on inside of dish lid when pouring. When pouring agar from flasks or tubes that have been held in a water bath, wipe with clean paper towel and flame the neck before pouring. As each plate is poured mix melted medium thoroughly with test portions in petri dish, taking care not to splash mixture over the edge, by rotating the dish first in one direction and then in the opposite direction, or by rotating and tilting. Let plates solidify (within 10 min) on a level surface. After medium solidifies, invert plates and place in incubator.

c. *Sterility controls:* Check sterility of medium and dilution water blanks by pouring control plates for each series of samples. Prepare additional controls to determine contamination of plates, pipets, and room air.

4. Incubation

See Section 9215A.7.

5. Counting, Recording, Computing, and Reporting

See Sections 9215A.8 and 9215A.9.

6. Bibliography

BREED, R.S. & W.D. DOTTERER. 1916. The number of colonies allowable on satisfactory agar plates. Tech. Bull. 53, New York Agricultural Experiment Sta.

BUTTERFIELD, C.T. 1933. The selection of a dilution water for bacteriological examinations. *J. Bacteriol.* 23:355; *Pub. Health Rep.* 48: 681.

ARCHAMBAULT, J., J. CUROT & M.H. McCRADY. 1937. The need of uniformity of conditions for counting plates (with suggestions for a standard colony counter). *Amer. J. Pub. Health* 27:809.

RICHARDS, O.W. & P.C. HEHN. 1945. An improved dark-field Quebec colony counter. *J. Milk Technol.* 8:253.

BERRY, J.M., D.A. McNEILL & L.D. WITTER. 1969. Effect of delays in pour plating on bacterial counts. *J. Dairy Sci.* 52:1456.

GELDRICH, E.E., H.D. NASH, D.J. REASONER & R.H. TAYLOR. 1972. The necessity of controlling bacterial populations in potable waters: Community water supply. *J. Amer. Water Works Assoc.* 64:596.

GELDRICH, E.E. 1973. Is the total count necessary? Proc. 1st Annu. AWWA Water Quality Technol. Conf., Dec. 3-4, 1973. Cincinnati, Ohio, p. VII-1. American Water Works Assoc., Denver, Colo.

GINSBURG, W. 1973. Improved total count techniques. Proc. 1st Annu. AWWA Water Quality Technol. Conf., Dec. 3-4, 1973. Cincinnati, Ohio, p. VIII-1. American Water Works Assoc., Denver, Colo.

DUTKA, B.J., A.S.Y. CHAU & J. COBURN. 1974. Relationship of heterotrophic bacterial indicators of water pollution and fecal sterols. *Water Res.* 8:1047.

KLEIN, D.A. & S. WU. 1974. Stress: a factor to be considered in heterotrophic microorganism enumeration from aquatic environments. *Appl. Microbiol.* 37:429.

GELDRICH, E.E., H.D. NASH, D.J. REASONER & R.H. TAYLOR. 1975. The necessity for controlling bacterial populations in potable waters: Bottled water and emergency water supplies. *J. Amer. Water Works Assoc.* 67:117.

BELL, C.R., M.A. HOLDER-FRANKLIN & M. FRANKLIN. 1980. Heterotrophic bacteria in two Canadian rivers.—I. Seasonal variation in the predominant bacterial populations. *Water Res.* 14:449.

MEANS, E.G., L. HANAMI, G.F. RIDGWAY & B.H. OLSON. 1981. Evaluating mediums and plating techniques for enumerating bacteria in water distribution systems. *J. Amer. Water Works Assoc.* 73: 585.

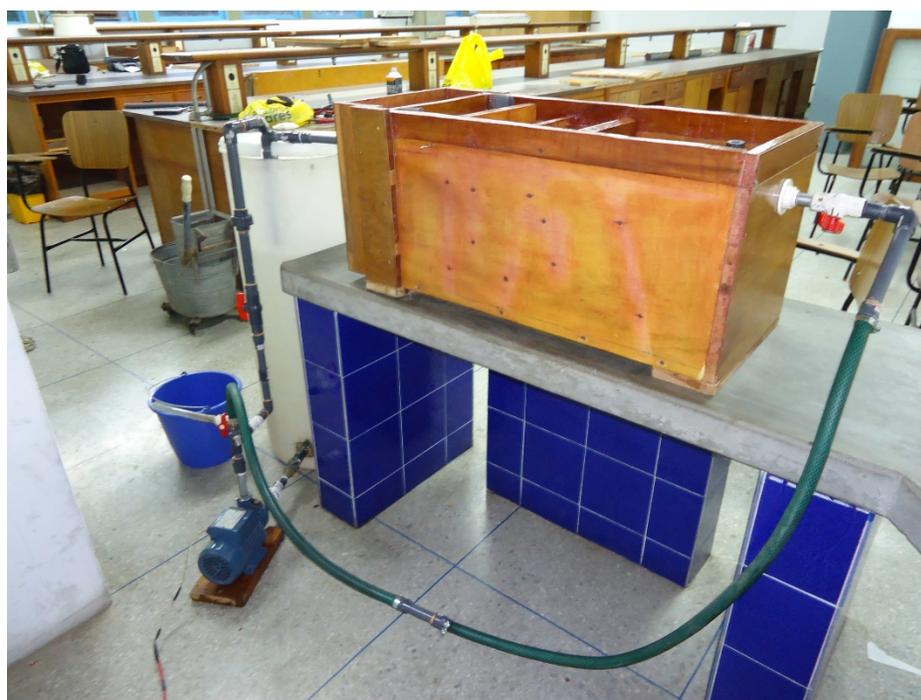
AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1993. Standard Methods for the Examination of Dairy Products, 16th ed. American Public Health Assoc., Washington, D.C.

REASONER, D.J. & E.E. GELDRICH. 1985. A new medium for the enumeration and subculture of bacteria from potable water. *Appl. Environ. Microbiol.* 49:1.

**ANEXO O. Fotos de bidones utilizados para el traslado.**



*ANEXO P. Tanque de madera para prueba hidráulica*



*ANEXO Q. Aparato Aireador*



*ANEXO R. Tanque Compensador para sistema de recirculación (B)*



### *ANEXO S. Detalles del Tube - UV*

#### **Partes del Nuevo UV-Tube UCAB**

##### **Cuerpo del tubo**

La longitud del tubo es de 120 cm (47”), dicha medida está determinada por la longitud de la lámpara UV (100 cm o 39”) además de 20 cm para tomar en cuenta la abertura de entrada en la parte superior, más los espacios necesarios para fijar la lámpara al tubo, los cables y colocar las tapas en los extremos, las cuales evitan tanto el derrame del agua como la exposición de los rayos UV. Para las tapas se usaron tapones de registro de PVC de 160 mm de diámetro, las cuales fueron acopladas al tubo de PEAD con un proceso de disminución del diámetro externo del mismo, hasta que dichas tapas encajaran en él.

La tapa del extremo de lado de la toma de entrada al tubo tiene una pequeña abertura rectangular ventanilla o visor que permite observar si la lámpara está encendida o no, así como el nivel de altura máximo permisible que alcanza el agua para no mojar la bombilla. En la tapa del otro extremo se encuentra el tubo de salida del agua ya tratada, cuyo diámetro es de  $\frac{3}{4}$ ” (1,91 cm), más un drenaje en el punto más bajo de  $\frac{1}{2}$ ”.

##### **Lámpara de UV**

La lámpara de luz UV es de 100 cm de largo y de 30 watts de potencia, marca Newlite. La lámpara es de conexión fácil con un balastro externo instalado en la parte superior de la base. Dicha base fue introducida en dos agujeros que posee el tubo en su parte superior, de manera que únicamente queden dentro del tubo los extremos que sostienen al bombillo, y la parte superior de la base queda por fuera del tubo para su fijación.

##### **Suministro y consumo de energía**

Los cables de alimentación se conectan al balastro y de éste al interruptor de corriente atornillado en la parte superior externa del tubo de PEAD, el cual está conectado a su vez con el conector desde donde se toma la energía. La conexión de corriente es de 120 Voltios. Si el agua por accidente toca la lámpara puede generarse un corto circuito en el sistema por lo que es necesario asegurar que esto no ocurra a través de la abertura colocada en la parte posterior la cual permite la visibilidad del nivel de agua. También es recomendable que mientras la luz UV esté encendida no se esté manipulando ni moviendo el tubo. Además es importante mantener la horizontalidad del “UV Tube” haciendo el uso de un nivel.

PEAD: Polietileno de Alta Densidad.



*ANEXO T.* Bases de datos obtenidos de los ensayos realizados a las muestras



semana 2	22-sep	26-sep				
<b>Ensayo</b>	<b>Punto</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>
<b>pH</b>	E.M	-	6,87	7,46	6,89	7,1
	S.M	-	6,62	7,07	6,42	6,78
	S.T	-	6,75	7,52	6,56	6,98
<b>Color (UCV)</b>	E.M	-	220	125	175	160
	S.M	-	65	50	65	60
	S.T	-	150	75	90	80
<b>Turbiedad (UTN)</b>	E.M	-	85	93	146	120
	S.M	-	2,9	27	45	33
	S.T	-	36	52	65	45
<b>Sólidos Disueltos Totales (SDT) (mg/L)</b>	E.M	-	524	512	538	520
	S.M	-	397	432	-	423
	S.T	-	475	-	482	483
<b>Conductividad (<math>\mu\text{s}/\text{cm}^2</math>)</b>	E.M	-	1049	1025	877	1050
	S.M	-	794	861	-	-
	S.T	-	963	953	805	968
<b>DBO 5,20 (mg/L)</b>	E.M		110	145	202	87
	S.M			63		
	S.T					
<b>DQO (mg/L)</b>	E.M		312	252	300	240
	S.M		192	228		
	S.T					
<b>Sólidos Totales (mg/L)</b>	E.M		1230	550	700	780
	S.M		410	510		
	S.T					
<b>Sólidos Sedimentables (ml/L)</b>	E.M	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3
	S.M	0	0	0	0	0
	S.T	0	0	0	0	0

AGUA CRUDA						
Agua Cruda	Punto	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
<b>Color (UCV)</b>	E.M	-	-	-	-	220
<b>Turbiedad (UTN)</b>	E.M	-	-	-	-	155
<b>Sólidos Totales (mg/L)</b>	E.M	-	-	-	-	0,865
<b>Sólidos Sedimentables (ml/L)</b>	E.M	-	-	-	-	6,5

## Microbiología- coliformes fecales - Semana 2

MICROBIOLOGÍA		(UFC/ml)								
DIA	Punto	1,00E-01	1,00E-02	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-05	1,00E-06	1,00E-07	1,00E-08	el mayor
<b>Lunes</b>	E.M	N.C.	263	2,63E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	162	143	132	-	-	1,32E+08
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	189	156	141	-	-	1,41E+08
<b>Martes</b>	E.M	N.C.	234	2,34E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	74	69	51	-	-	5,10E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	141	129	116	-	-	1,16E+08
<b>Miercoles</b>	E.M	N.C.	221	2,21E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	68	56	47	-	-	4,70E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	134	110	96	-	-	9,60E+07
<b>Jueves</b>	E.M	N.C.	184	1,84E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	79	62	43	-	-	4,30E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	124	113	100	-	-	1,00E+08
<b>Viernes</b>	E.M	N.C.	173	1,73E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	93	85	62	-	-	6,20E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	121	111	102	-	-	1,02E+08

N.C= No contable

semana 3	29-sep	03-oct				
Ensayo	Punto	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
pH	E.M	7,46	7,72	7,41	8,01	7,78
	S.M	7,05	7,18	7,15	6,82	7,00
	S.T	7,22	7,33	7,28	7,59	7,59
Color (UCV)	E.M	150	230	230	225	225
	S.M	35	45	60	70	85
	S.T	75	75	100	115	125
Turbiedad (UTN)	E.M	68	90	70	62	60
	S.M	1	0,25	25	15	15
	S.T	12,5	22,5	33	47	35
Solidos Disueltos Totales (SDT) (mg/L)	E.M	547	574	460	536	580
	S.M	300	348	336	351	390
	S.T	384	436	407	404	512
Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ )	E.M	1097	1146	921	1473	1163
	S.M	600	696	736	703	764
	S.T	769	873	817	810	1025
DBO 5,20 (mg/L)	E.M	67	115	164	164	163
	S.M	1	1	39	9	23
	S.T		34	43	54	46
DQO (mg/L)	E.M	216	396	312	420	312
	S.M	36	84	84	12	60
	S.T	60	108	96	120	108
Solidos Totales (mg/L)	E.M	715	490	795	710	405
	S.M	270	145	420	265	205
	S.T	650	190	575	585	380
Solidos Sedimentables (ml/L)	E.M	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1
	S.M	0	0	0	0	0
	S.T	0	0	0	0	0

AGUA CRUDA						
Agua Cruda	Punto	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Color (UCV)	E.M	230	260	350	360	330
Turbiedad (UTN)	E.M	117	120	103	135	135
Solidos Totales (mg/L)	E.M	0,86	0,505	0,835	1,055	1,015
Solidos Sedimentables (ml/L)	E.M	1,7	15	13	-	0,6

## Microbiología- coliformes fecales - Semana 3

MICROBIOLOGÍA		(UFC/ml)								
DIA	Punto	1,00E-01	1,00E-02	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-05	1,00E-06	1,00E-07	1,00E-08	el mayor
<b>Lunes</b>	E.M	N.C.	208	2,08E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	60	47	38	-	-	3,80E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	82	68	141	-	-	1,41E+08
<b>Martes</b>	E.M	N.C.	114	1,14E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	106	82	86	-	-	8,60E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	124	114	112	-	-	1,12E+08
<b>Miercoles</b>	E.M	N.C.	198	1,98E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	67	43	39	-	-	3,90E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	113	109	89	-	-	8,90E+07
<b>Jueves</b>	E.M	N.C.	248	2,48E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	65	44	54	-	-	5,40E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	127	162	132	-	-	1,32E+08
<b>Viernes</b>	E.M	N.C.	260	2,60E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	86	65	42	-	-	4,20E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	121	111	100	-	-	1,00E+08

N.C= No contable

semana 4	06-oct	10-oct				
<b>Ensayo</b>	<b>Punto</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>
<b>pH</b>	E.M	7,83	7,95	7,96	7,92	7,86
	S.M	6,76	7,11	6,81	6,70	6,60
	S.T	7,36	7,31	7,39	7,06	7,25
<b>Color (UCV)</b>	E.M	200	160	230	230	220
	S.M	45	60	55	65	55
	S.T	110	110	110	85	92
<b>Turbiedad (UTN)</b>	E.M	65	47	100	60	110
	S.M	25	5	2,5	2,5	3
	S.T	46	35	23	10	30
<b>Solidos Disueltos Totales (SDT) (mg/L)</b>	E.M	633	553	645	643	675
	S.M	531	471	477	477	456
	S.T	607	529	549	553	560
<b>Conductividad (<math>\mu\text{s}/\text{cm}^2</math>)</b>	E.M	1207	1106	1288	1286	1275
	S.M	968	967	958	952	947
	S.T	1063	1070	1099	1074	1088
<b>DBO 5,20 (mg/L)</b>	E.M	125	64	48	106	100
	S.M	13	11	7	11	25
	S.T	43	34	19	26	38
<b>DQO (mg/L)</b>	E.M	264	180	-	-	180
	S.M	60	72	-	-	48
	S.T	132	132	-	-	96
<b>Solidos Totales (mg/L)</b>	E.M	485	375	740	475	-
	S.M	460	200	590	355	-
	S.T	485	305	645	435	-
<b>Solidos Sedimentables (ml/L)</b>	E.M	0,1	0,2	0,2	0	0,1
	S.M	0	0	0	0	0
	S.T	0	0	0	0	0

AGUA CRUDA						
Agua Cruda	Punto	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
<b>Color (UCV)</b>	E.M	240	230	250	260	-
<b>Turbiedad (UTN)</b>	E.M	90	60	103	103	-
<b>Solidos Totales (mg/L)</b>	E.M	0,535	0,72	0,89	0,95	-
<b>Solidos Sedimentables (ml/L)</b>	E.M	3,5	8	11	11	-

## Microbiología- coliformes fecales - Semana 4

MICROBIOLOGÍA		(UFC/ml)								
DIA	Punto	1,00E-01	1,00E-02	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-05	1,00E-06	1,00E-07	1,00E-08	el mayor
<b>Lunes</b>	E.M	N.C.	178	1,78E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	51	44	23	-	-	2,30E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	89	74	52	-	-	5,20E+07
<b>Martes</b>	E.M	N.C.	167	1,67E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	63	57	42	-	-	4,20E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	121	111	106	-	-	1,06E+08
<b>Miercoles</b>	E.M	N.C.	184	1,84E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	86	76	56	-	-	5,60E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	132	114	99	-	-	9,90E+07
<b>Jueves</b>	E.M	N.C.	199	1,99E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	46	33	22	-	-	2,20E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	152	142	133	-	-	1,33E+08
<b>Viernes</b>	E.M	N.C.	235	2,35E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	84	68	49	-	-	4,90E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	129	116	89	-	-	8,90E+07

N.C= No contable

semana 5	13-oct	17-oct				
Ensayo	Punto	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
pH	E.M	7,45	7,67	7,97	7,80	7,90
	S.M	6,05	6,15	6,82	6,55	6,83
	S.T	6,87	6,90	7,21	7,10	7,36
Color (UCV)	E.M	150	190	230	250	220
	S.M	56	55	65	55	55
	S.T	90	70	85	94	90
Turbiedad (UTN)	E.M	40	35	48	37	45
	S.M	4,5	2,5	2,5	0,9	2,9
	S.T	25	15	15,5	15	17
Solidos Disueltos Totales (SDT) (mg/L)	E.M	572	553	562	570	568
	S.M	428	426	402	424	465
	S.T	490	463	486	471	529
Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ )	E.M	1175	1106	1127	1140	1250
	S.M	857	849	793	850	830
	S.T	980	926	956	927	1058
DBO 5,20 (mg/L)	E.M	84	72	47	65	-
	S.M	11	5	6	1	22
	S.T	44	12	22	5	34
DQO (mg/L)	E.M	-	132	120	144	-
	S.M	-	24	36	60	-
	S.T	-	96	72	108	96
Solidos Totales (mg/L)	E.M	475	375	500	605	-
	S.M	345	295	250	475	-
	S.T	400	315	385	515	-
Solidos Sedimentables (ml/L)	E.M	0,2	0,3	0,1	0,2	0
	S.M	0	0	0	0	0
	S.T	0	0	0	0	0

AGUA CRUDA						
Agua Cruda	Punto	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Color (UCV)	E.M	330	260	360	-	350
Turbiedad (UTN)	E.M	90	75	75	-	75
Solidos Totales (mg/L)	E.M	620	780	750	-	955
Solidos Sedimentables (ml/L)	E.M	6	4,5	29	-	-

## Microbiología- coliformes fecales - Semana 5

MICROBIOLOGÍA		(UFC/ml)								
DIA	Punto	1,00E-01	1,00E-02	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-05	1,00E-06	1,00E-07	1,00E-08	el mayor
<b>Lunes</b>	E.M	N.C.	189	1,89E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	48	38	25	-	-	2,50E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	128	117	98	-	-	9,80E+07
<b>Martes</b>	E.M	N.C.	248	2,48E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	76	56	42	-	-	4,20E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	132	129	115	-	-	1,15E+08
<b>Miercoles</b>	E.M	N.C.	360	3,60E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	74	68	62	-	-	6,20E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	156	121	97	-	-	9,70E+07
<b>Jueves</b>	E.M	N.C.	195	1,95E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	127	144	86	-	-	8,60E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	139	113	105	-	-	1,05E+08
<b>Viernes</b>	E.M	N.C.	137	1,37E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	64	52	38	-	-	3,80E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	137	108	100	-	-	1,00E+08

N.C= No contable

semana 6	20-oct	24-oct				
Ensayo	Punto	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
pH	E.M	7,93	7,10	8,03	8,06	8,25
	S.M	6,07	6,13	6,75	6,31	6,96
	S.T	7,17	6,40	7,14	6,93	7,40
Color (UCV)	E.M	165	150	150	190	220
	S.M	42	80	55	50	63
	S.T	93	100	75	85	90
Turbiedad (UTN)	E.M	46	55	75	55	75
	S.M	2	6	2,5	3	5
	S.T	10	17,5	25	10	35
Solidos Disueltos Totales (SDT) (mg/L)	E.M	615	562	586	586	590
	S.M	468	448	450	451	462
	S.T	543	501	506	508	546
Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ )	E.M	1238	1122	1167	1173	1116
	S.M	943	977	905	900	925
	S.T	1025	1002	1020	1016	1091
DBO 5,20 (mg/L)	E.M	-	55	56	95	88
	S.M	-	35	22	33	21
	S.T	-	46	45	46	38
DQO (mg/L)	E.M	-	108	96	150	180
	S.M	-	48	48	60	70
	S.T	-	72	72	70	80
Solidos Totales (mg/L)	E.M	-	545	515	550	495
	S.M	-	470	480	440	335
	S.T	-	515	495	500	450
Solidos Sedimentables (ml/L)	E.M	-	0,1	0,1	0,1	0
	S.M	-	0	0	0	0
	S.T	-	0	0	0	0

AGUA CRUDA						
Agua Cruda	Punto	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Color (UCV)	E.M	-	-	230	-	250
Turbiedad (UTN)	E.M	-	-	75	-	90
Solidos Totales (mg/L)	E.M	-	-	0,855	-	0,69
Solidos Sedimentables (ml/L)	E.M	-	-	2	-	-

## Microbiología- coliformes fecales - Semana 6

MICROBIOLOGÍA		(UFC/ml)								
DIA	Punto	1,00E-01	1,00E-02	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-05	1,00E-06	1,00E-07	1,00E-08	el mayor
<b>Lunes</b>	E.M	N.C.	235	2,35E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	56	45	23	-	-	2,30E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	139	124	108	-	-	1,08E+08
<b>Martes</b>	E.M	N.C.	153	1,53E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	86	92	73	-	-	7,30E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	119	108	99	-	-	9,90E+07
<b>Miercoles</b>	E.M	N.C.	98	9,80E+09						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	84	65	46	-	-	4,60E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	122	129	113	-	-	1,13E+08
<b>Jueves</b>	E.M	N.C.	144	1,44E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	73	59	26	-	-	2,60E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	128	120	112	-	-	1,12E+08
<b>Viernes</b>	E.M	N.C.	160	1,60E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	103	156	89	-	-	8,90E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	134	125	116	-	-	1,16E+08

N.C= No contable

semana 7	27-oct	31-oct				
Ensayo	Punto	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
pH	E.M	7,83	7,94	7,90	7,87	7,65
	S.M	6,09	6,38	6,17	6,05	6,19
	S.T	7,14	7,21	7,24	7,17	7,08
Color (UCV)	E.M	175	220	215	190	180
	S.M	43	50	50	44	35
	S.T	95	120	110	85	90
Turbiedad (UTN)	E.M	45	45	43	44	45
	S.M	2,3	2,5	5	3,5	2,5
	S.T	12	15	15	17	15
Solidos Disueltos Totales (SDT) (mg/L)	E.M	622	613	576	630	605
	S.M	476	473	471	475	472
	S.T	544	535	523	540	538
Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ )	E.M	1234	1223	1152	1215	1118
	S.M	953	943	937	962	946
	S.T	1084	1035	1042	1065	1027
DBO 5,20 (mg/L)	E.M	136	133	131	147	161
	S.M	31	22	21	21	24
	S.T	45	33	27	28	34
DQO (mg/L)	E.M	240	276	264	276	312
	S.M	50	36	48	60	60
	S.T	80	60	60	72	72
Solidos Totales (mg/L)	E.M	575	540	670	640	-
	S.M	425	425	410	485	-
	S.T	505	505	595	525	-
Solidos Sedimentables (ml/L)	E.M	0,2	0,1	0	0,2	0,1
	S.M	0	0	0	0	0
	S.T	0	0	0	0	0

AGUA CRUDA						
Agua Cruda	Punto	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Color (UCV)	E.M	-	320	-	270	-
Turbiedad (UTN)	E.M	-	75	-	120	-
Solidos Totales (mg/L)	E.M		1,02		0,915	-
Solidos Sedimentables (ml/L)	E.M	-	0,8	-	5	-

## Microbiología- coliformes fecales - Semana 7

MICROBIOLOGÍA		(UFC/ml)								
DIA	Punto	1,00E-01	1,00E-02	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-05	1,00E-06	1,00E-07	1,00E-08	el mayor
<b>Lunes</b>	E.M	N.C.	320	3,20E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	62	32	25	-	-	2,50E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	142	95	68	-	-	6,80E+07
<b>Martes</b>	E.M	N.C.	338	3,38E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	84	74	49	-	-	4,90E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	156	101	112	-	-	1,12E+08
<b>Miercoles</b>	E.M	N.C.	273	2,73E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	59	60	38	-	-	3,80E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	123	95	96	-	-	9,60E+07
<b>Jueves</b>	E.M	N.C.	252	2,52E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	72	42	56	-	-	5,60E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	138	129	107	-	-	1,07E+08
<b>Viernes</b>	E.M	N.C.	312	3,12E+10						
	S.M	N.C.	N.C.	N.C.	86	95	74	-	-	7,40E+07
	S.T	N.C.	N.C.	N.C.	122	109	111	-	-	1,11E+08

N.C= No contable

## Microbiología- coliformes fecales - Semana 10

MICROBIOLOGÍA		(UFC/ml)		CON FILTRO UV							
DIA	Punto	1,00E-01	1,00E-02	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-05	1,00E-06	1,00E-07	1,00E-08	El mayor	
<b>Lunes</b>	Entrada	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	9	9,00E+08	
	S. Sin UV	N.C.	50	30	7	-	-	-	-	7,00E+04	
	S. Con UV	22	4	2	1	-	-	-	-	1,00E+04	
<b>Martes</b>	Entrada	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	8	8,00E+08	
	S. Sin UV	N.C.	99	27	6	-	-	-	-	6,00E+04	
	S. Con UV	24	2	1	2	-	-	-	-	2,00E+04	
<b>Miercoles</b>	Entrada	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	9	9,00E+08	
	S. Sin UV	N.C.	15	9	6	-	-	-	-	6,00E+04	
	S. Con UV	18	10	5	3	-	-	-	-	3,00E+04	
<b>Jueves</b>	Entrada	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	19	1,90E+09	
	S. Sin UV	N.C.	25	15	6	-	-	-	-	6,00E+04	
	S. Con UV	11	9	7	3	-	-	-	-	3,00E+04	
<b>Viernes</b>	Entrada	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	22	2,20E+09	
	S. Sin UV	N.C.	N.C.	20	7	-	-	-	-	7,00E+04	
	S. Con UV	10	7	5	2	-	-	-	-	2,00E+04	

N.C= No contable

## Microbiología- coliformes fecales - Semana 11

MICROBIOLOGÍA		(UFC/ml)		CON FILTRO UV							
DIA	Punto	1,00E-01	1,00E-02	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-05	1,00E-06	1,00E-07	1,00E-08	El mayor	
<b>Lunes</b>	Entrada	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	13	1,30E+09	
	S. Sin UV	N.C.	12	5	3	-	-	-	-	3,00E+04	
	S. Con UV	12	9	7	1	-	-	-	-	1,00E+04	
<b>Martes</b>	Entrada	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	15	1,50E+09	
	S. Sin UV	N.C.	30	16	11	-	-	-	-	1,10E+05	
	S. Con UV	18	12	5	2	-	-	-	-	2,00E+04	
<b>Miercoles</b>	Entrada	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	11	1,10E+09	
	S. Sin UV	N.C.	18	11	8	-	-	-	-	8,00E+04	
	S. Con UV	19	11	7	3	-	-	-	-	3,00E+04	
<b>Jueves</b>	Entrada	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	22	2,20E+09	
	S. Sin UV	N.C.	23	13	5	-	-	-	-	5,00E+04	
	S. Con UV	15	9	6	2	-	-	-	-	2,00E+04	
<b>Viernes</b>	Entrada	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	15	1,50E+09	
	S. Sin UV	N.C.	31	13	9	-	-	-	-	9,00E+04	
	S. Con UV	14	11	4	1	-	-	-	-	1,00E+04	

N.C= No contable

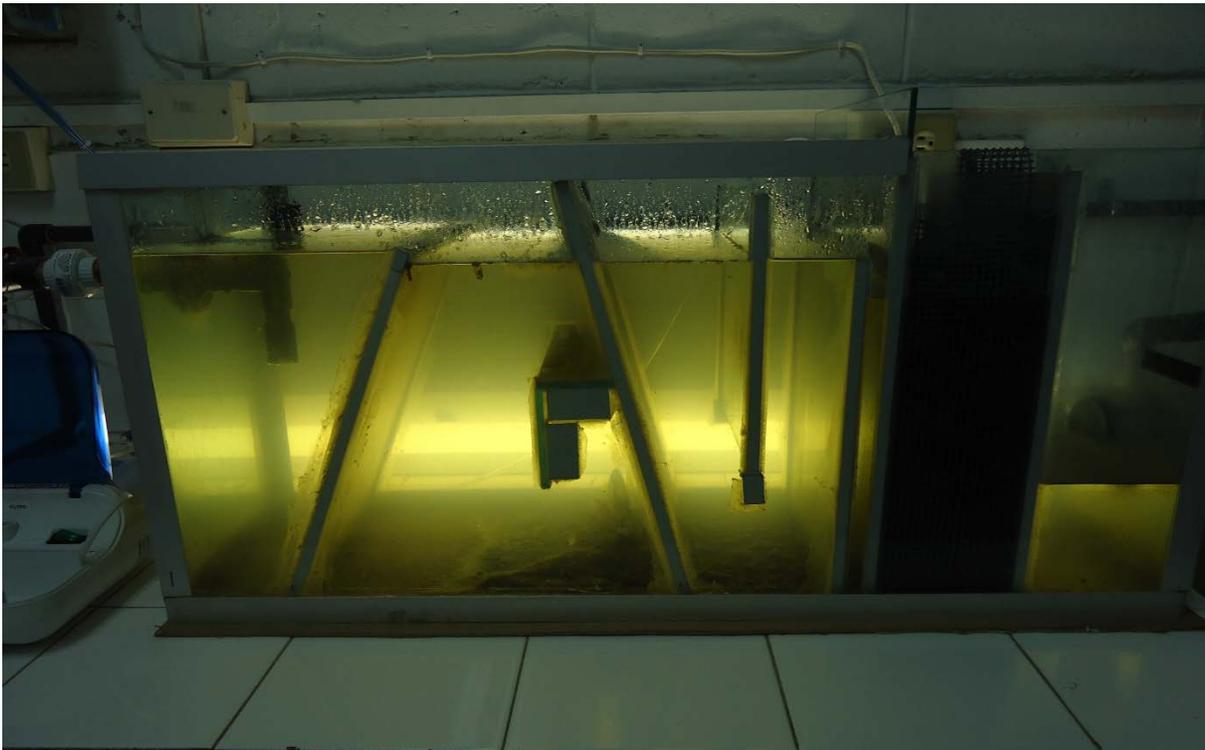
*ANEXO U. Fotos de sistema RBS*



Sistema RBS Instalado,  
Fase de Prueba Inicial

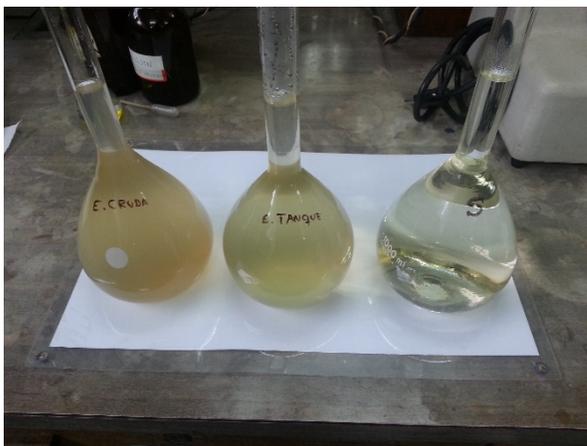


ANEXOS



Materia Flotante

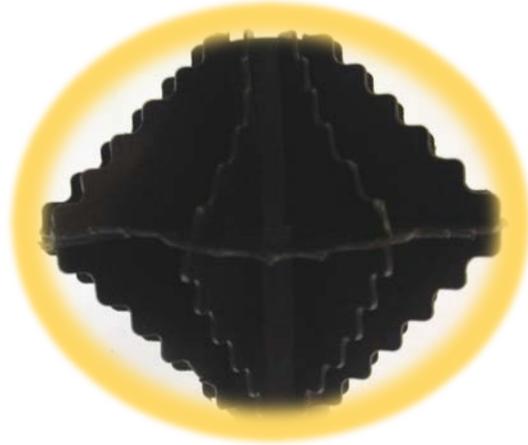
Filtro Percolador



Resultados del proceso



Muestra de Microbiología con tratamiento UV

*ANEXO V. Esferas de PEAD*

Esferas a utilizar en el Prototipo final y sus propiedades son:

**Superficie Específica (S):  $110 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .**

**N° de esferas en  $1 \text{ m}^3$ : 30.000**

**ANEXO W. Cálculos numéricos del biofiltro**

Conocido  $\left\{ \begin{array}{l} D = 0,26 \text{ m} - \text{Profundidad del Lecho} \\ A = 0,125 \times 0,33 \text{ m} = 0,04125 \text{ m}^2 \text{ Área Transversal} \\ LE = 60 \text{ mg/L} - \text{Carga a llegar} \\ S = 96,21 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{SUPERFIE ESPECÍFICA} \end{array} \right.$

$Q_i = 126 \text{ L/día} = 0,126 \text{ m}^3/\text{día}$  CAUDAL DE ENTRADA AL SISTEMA

$Q_R = 0,025 \text{ Lps} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000} \times \frac{86400 \text{ seg}}{1 \text{ día}} = 2,16 \text{ m}^3/\text{día}$  - CAUDA DE RECIRCULACIÓN

$Q_0 = Q_i + Q_R$   
 $Q_0 = 0,126 + 2,16 = 2,286 \text{ m}^3/\text{día}$  - CAUDAL DE ENTRADA AL BIOFILTRO

$K_T = 0,23 \times \theta^{(T-20)} \rightarrow K_T = 0,27316 \text{ (día}^{-1}\text{)}$

PARA UN  $T = 25^\circ\text{C}$  } DATO  
 $\theta = 1,035$

$$\frac{LE}{L_0} = e^{-\left[ \frac{K_T \times S \times D \times A^{0,5}}{Q_0^{0,5}} \right]} = e^{-\left[ \frac{0,27316 \times 96,21 \times 0,26 \times 0,04125^{0,5}}{2,286^{0,5}} \right]}$$

$\frac{LE}{L_0} = 0,39936$  Ecu ①      PARA UNA CONCENTRACIÓN DE DBO ENTRANDO AL SISTEMA Iguál  $L_i = 240 \text{ mg/L}$

Con,  $L_0 = (Q_i \times L_i + Q_R \times LE) / (Q_i + Q_R)$  Ecu ②

$L_0 = (0,126 \times 240 + 2,16 \times (0,39936 \cdot L_0)) / 2,286$   
 $L_0 = (30,24 + 0,8626176 \cdot L_0) / 2,286$   
 $2,286 \cdot L_0 = 30,24 + 0,8626176 \cdot L_0$   
 $1,423384 \cdot L_0 = 30,24 \Rightarrow L_0 = 30,24 / 1,423384$

$L_0 = 21,25 \text{ mg/L}$  ✓ y con Ecu ①  $\rightarrow LE = 0,39936 \times 21,25$   
 $LE = 8,49 \text{ mg/L}$  ✓