



**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas**

**Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**Implementación de un sistema de tratamiento de residuos líquidos  
infecciosos de un laboratorio clínico.**

**Previo a la obtención del título de:**

**INGENIERÍA QUÍMICA**

**Preparado por:**

**Luis Antonio Morocho Rosero**

**Gabriela Stefany Torres Perero**

**Guayaquil – Ecuador**

**2014**

## AGRADECIMIENTO

A Dios, a nuestros padres y familiares, a nuestros amigos, que permitieron que culminemos esta etapa de nuestra vida con amor y éxito.

El profundo agradecimiento al PhD. Francisco Torres por ayudarnos a lo largo de este trabajo.

Agradecimientos al PhD. José Chang por guiarnos y darnos valiosos consejos para la culminación de nuestro proyecto de graduación.

Agradecimientos especiales a laboratorio clínico ROLAB por abrirnos sus puertas y permitirnos realizar este Trabajo.

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de graduación está dedicado a Dios, quien ha sido el motor de nuestras vidas e impulsado a seguir adelante pese a los obstáculos presentados.

A nuestros padres quienes nos han brindado la fuerza, motivación y los recursos necesarios para terminar nuestros estudios, ellos son el pilar de nuestra educación.

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Presidente del Tribunal

---

PhD. José Vicente Chang  
Director de Proyecto de Graduación

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Luis Antonio Morocho Rosero

---

Gabriela Stefany Torres Perero

Guayaquil, Marzo 2015

## RESUMEN

El objetivo del presente proyecto fue el de implementar un sistema de tratamiento de residuos líquidos infecciosos de un laboratorio clínico, para de este modo poder ser descartados en el sistema de alcantarillado de agua potable cumpliendo con todas las normas que exige la legislación ecuatoriana.

Para lograrlo, se tomó las muestras del residuo líquido producido en un laboratorio clínico (fluidos corporales), compuestos principalmente por sangre y orina. Inicialmente se determinó la tasa de generación de estos residuos líquidos, esto con la finalidad de la obtención de datos para el dimensionamiento del sistema de tratamientos y luego se analizaron diversos parámetros del agua residual, esto nos permitió tener una idea inicial sobre los tratamientos que este residuo líquido requería.

Una vez estudiados los resultados obtenidos en los análisis de la muestra, se decidió realizar un tratamiento de 3 etapas, las cuales consisten en: oxidación avanzada  $O_3/UV/H_2O_2$ , con la finalidad de desinfectar la muestra y reducir la DBO y DQO, filtración, con la finalidad de remover pequeñas partículas sólidas y finalmente un intercambio iónico para remover los nitratos, fosfatos y demás compuestos formados durante la oxidación avanzada.

Se realizaron pruebas piloto con el sistema de tratamiento propuesto y al efluente se le realizaron los análisis de calidad respectivos, dando como resultado valores que se encuentran dentro del parámetro de descarga al sistema de alcantarillado, del mismo modo se realizaron pruebas para encontrar la presencia de agentes patógenos en la muestra, las cuales dieron como resultado que dicho efluente no representa un peligro para la salud humana ni al medio ambiente. Esto nos quiere decir que los tratamientos seleccionados para nuestro sistema cumplen con su cometido. Estas pruebas sirvieron para la obtención de datos importantes para el diseño del sistema de tratamiento como: tiempos de retención, dosis de reactivos, datos de diseño, etc.

Finalmente se procedió al ensamblaje del sistema de tratamiento de residuos líquidos infecciosos de laboratorio clínico, para esto se tomó en cuenta la tasa de producción de residuos líquidos y los datos de diseño obtenidos en las pruebas piloto. Para corroborar la eficiencia del sistema de tratamiento de residuos líquidos infecciosos que implementamos se realizaron nuevamente los análisis de calidad de agua y los resultados obtenidos fueron favorables cumpliendo así de esta manera el objetivo de este proyecto.

## ABREVIATURAS

ADN	Acido desoxirribonucleico
Ac	Acuoso
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
ETT	Encefalopatías espongiformes transmisibles
CJK, vCJK	Enfermedad de Creutzfeldt-Jakob
INEN	Instituto ecuatoriano de normalización
NTK	Nitrógeno total kjeldahl
NTE	Norma técnica ecuatoriana
OD	Oxígeno disuelto
Ppm	Partes por millón
PVC	Policloruro de vinilo
PTFE	Politetrafluoroetileno
pH	Potencial hidrogeno
TULAS	Texto unificado de la legislación ambiental secundaria

THP	Total petroleum hydrocarbon
UV	Ultra violeta
VIH	Virus de inmunodeficiencia humana

## SIMBOLOGÍA

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico
H <sub>2</sub> O	Agua
Al	Aluminio
H	Altura
As	Arsénico
S	Azufre
Ba	Bario
Cd	Cadmio
CO <sub>3</sub>	carbonatos
Cm	Centímetro
CN	Cianuro
Cl	Cloro
Co	Cobalto
Cu	Cobre
K <sub>lar</sub>	Coeficiente de transferencia global con reacción química

$KI_a$	Coeficiente de transferencia global sin reacción química
$[O_3]_l$	Concentración del ozono en el líquido
$[O_3]_{lr}$	Concentración del ozono en el líquido en el equilibrio
$[M]$	concentración Molar
Ti:	concentración molar de la solución de tiosulfato de sodio
$Cr_6$	Cromo hexavalente
$Cl_2$	Dicloro
$CO_2$	Dióxido de carbono
$ClO_2$	Dióxido de cloro
P	Fosforo
Gal	Galón
g	Gramos
C	Grados Celsius
K	Grados kelvin
KOH	Hidróxido de potasio

Fe	Hierro
Kg/m <sup>3</sup>	kilogramo por metro cubico
l/l	Litro por litro
l/s	Litros por Segundo
Mn	Manganeso
±	Más, menos
Hg	Mercurio
mm <sup>3</sup>	Microlitro
m	metro
mA	Miliamperios
Mfd	Milifaradios
Mg/l	Miligramos por litro
ml	Mililitro
ml/l	mililitro por litro
ml/min	Mililitros por minuto
mm	Milímetros
ms/cm	Milisiemens por centímetro

Min	Minutos
Nm	nanómetro
Ni	Níquel
N	Nitrógeno
O <sub>2</sub>	Oxígeno
O <sub>3</sub>	Ozono
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peróxido de Hidrogeno
Ag	Plata
Pb	Plomo
%	Porcentual
OH <sup>-</sup>	Radical hidroxilo
Rpm	Revoluciones por minuto
Se	Selenio
SST	Solidos suspendidos totales
SO <sub>4</sub>	Sulfatos
S <sub>4</sub> O <sub>6</sub>	Tetrionato

T:	Tiempo
$S_2O_3^{2-}$	Tiosulfato
V	Vanadio
v	volteos
Vol	Volumen
Vm:	volumen de la solución de yoduro de potasio bombeada con ozono
vm:	volumen de la solución de yoduro de potasio titulada
Vt:	volumen del titulante (solución de tiosulfato de sodio) en ml
$I_2$	Yodo
IK	Yoduro de potasio
Z	Zinc

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	II
DEDICATORIA .....	III
RESUMEN .....	VI
ABREVIATURAS .....	VIII
SIMBOLOGÍA.....	X
ÍNDICE GENERAL .....	XV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XXII
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XXIV
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XXV
INTRODUCCIÓN .....	XXX
CAPÍTULO 1.....	1
ANTECEDENTES.....	1
El problema .....	3
Justificación.....	5
Alcance.....	5
Objetivos .....	6

Objetivos generales .....	6
Objetivos específicos .....	6
Metodología .....	6
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>9</b>
<b>MARCO TEORICO .....</b>	<b>9</b>
<b>MARCO TEORICO.....</b>	<b>9</b>
Residuos líquidos de laboratorio clínico .....	9
<i>Enfermedades transmisibles por fluidos corporales .....</i>	<i>24</i>
<i>Manejo de residuos líquidos infecciosos.....</i>	<i>26</i>
<i>Toma y manejo de las muestras .....</i>	<i>30</i>
<b>Parámetros del residuo líquido infeccioso que incumplen los límites permisibles de la norma de descarga al sistema de alcantarillado público.....</b>	<b>38</b>
DBO .....	39
DQO .....	40
Nitrógeno total kjeldahl.....	41
Sólidos sedimentables.....	41
Sólidos suspendidos totales.....	42
Tratamiento del residuo líquido infeccioso .....	42

Filtración .....	43
Oxidación avanzada O3/UV/H2O2.....	43
Floculación-coagulación .....	47
Intercambio iónico .....	48
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>50</b>
<b>TOMA DE LA MUESTRA Y ANÁLISIS DE LABORATORIO .....</b>	<b>50</b>
<b>Procedimiento de la toma y conservación de la muestra .....</b>	<b>51</b>
<b>Preparación de Recipientes.....</b>	<b>51</b>
<b>Llenado del Recipiente.....</b>	<b>52</b>
<b>Refrigeración y Congelación de las muestras. ....</b>	<b>52</b>
<b>Filtración de muestras .....</b>	<b>53</b>
<b>Adición de Preservantes.....</b>	<b>53</b>
<b>Identificación de las muestras .....</b>	<b>54</b>
<b>Transporte de las muestras.....</b>	<b>54</b>
<b>Recepción de las muestras en el laboratorio.....</b>	<b>55</b>
<b>Procedimientos de los análisis de la muestra .....</b>	<b>55</b>
<b>Medición de pH.....</b>	<b>55</b>
<b>Análisis de Demanda Química de Oxígeno.....</b>	<b>57</b>

<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno Método 8043, Método de Dilución.</b>	
.....	<b>59</b>
<b>Nitrógeno Kjeldahl Total</b> .....	<b>60</b>
<b>Sulfatos</b> .....	<b>62</b>
<b>Fosfatos</b> .....	<b>63</b>
<b>Sólidos Sedimentables</b> .....	<b>64</b>
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b> .....	<b>64</b>
<b>Resultados de los análisis de las muestras sin tratar</b> .....	<b>65</b>
<b>Interpretación de Resultados</b> .....	<b>67</b>
<b>Tratamiento de las muestras en laboratorio</b> .....	<b>69</b>
<b>Oxidación O3/UV H2O2</b> .....	<b>69</b>
<b>Determinación de la cantidad de peróxido de hidrogeno necesaria para el tratamiento</b> .....	<b>70</b>
<b>Interpretación de los resultados obtenidos en la experimentación con el peróxido de hidrogeno</b> .....	<b>73</b>
<b>Determinación de tiempo de exposición a ozono y radiación UV</b> .....	<b>74</b>
<b>Interpretación de los resultados obtenidos en la experimentación con ozono y radiación UV</b> .....	<b>77</b>
<b>floculación-coagulación</b> .....	<b>79</b>
<b>Tratamiento con cal y sulfato de aluminio</b> .....	<b>81</b>

Tratamiento con cal y policloruro de aluminio .....	82
Tratamiento con cal y polielectrolito .....	83
Filtración e intercambio iónico.....	88
Resultados de la muestra tratada en laboratorio. ....	96
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>99</b>
<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LIQUIDOS INFECCIOSOS .....</b>	<b>99</b>
Diseño del sistema de filtración primaria.....	100
Diseño del equipo de oxidación avanzada O <sub>3</sub> /UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	102
Diseño del generador de Ozono .....	102
Diseño del Sedimentador .....	104
Diseño del sistema de filtración e intercambio iónico.....	111
Diseño del Sistema. ....	113
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>116</b>
<b>CONSTRUCCION Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA.....</b>	<b>116</b>
Construcción del generador de ozono .....	117
Determinación de la tasa de generación de ozono .....	121
Construcción del sedimentador.....	124
Construcción de los filtros .....	127

<b>Análisis de la muestra tratada con el equipo .....</b>	<b>128</b>
<b>Costos de construcción del equipo .....</b>	<b>129</b>
<b>Costos de operación del equipo .....</b>	<b>130</b>
<b>Comparación de costos de operación con la mensualidad de una empresa encargada en la gestión de residuos de laboratorio clínico .....</b>	<b>131</b>
<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>132</b>
<b>MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.....</b>	<b>132</b>
<b>Llenado del reactor.....</b>	<b>133</b>
<b>Preparación de los reactivos .....</b>	<b>134</b>
<b>    Solución de cal:.....</b>	<b>134</b>
<b>    Solución de polielectrolito.....</b>	<b>134</b>
<b>    Peróxido de hidrogeno al 10%: .....</b>	<b>134</b>
<b>Adición del peróxido de hidrogeno.....</b>	<b>135</b>
<b>Encendido del equipo de oxidación avanzada .....</b>	<b>136</b>
<b>Adición del floculante y el coagulante.....</b>	<b>137</b>
<b>Remoción de los lodos .....</b>	<b>138</b>
<b>Filtración de la muestra .....</b>	<b>139</b>
<b>Disposición Final de la muestra .....</b>	<b>140</b>

<b>Limpieza del equipo .....</b>	<b>141</b>
<b>CAPÍTULO 7.....</b>	<b>143</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>143</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>144</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>145</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>147</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1: MUESTRA CRUDA .....</b>	<b>69</b>
<b>FIGURA 2: MUESTRA TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDROGENO .....</b>	<b>73</b>
<b>FIGURA 3: MUESTRA EXPUESTA A OZONO Y RADIACIÓN UV .....</b>	<b>78</b>
<b>FIGURA 4: MUESTRA TRATADA CON CAL Y SULFATO DE ALUMINIO</b>	<b>82</b>
<b>FIGURA 5: MUESTRA TRATADA CON CAL Y POLICLORURO DE ALUMINIO.....</b>	<b>83</b>
<b>FIGURA 6: MUESTRA TRATADA CON CAL Y POLIELECTROLITO .....</b>	<b>84</b>
<b>FIGURA 7: MUESTRA SEDIMENTADA .....</b>	<b>84</b>
<b>FIGURA 8: LIQUIDO EXTRAÍDO DE LA MUESTRA TRATADA CON CAL Y POLIELECTROLITO.....</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA 9: COÁGULOS DE SANGRE PRESENTES EN LA MUESTRA .</b>	<b>101</b>
<b>FIGURA 10: MALLA METÁLICA DE TIPO CRUZADO .....</b>	<b>102</b>
<b>FIGURA 13: CIRCUITO DEL GENERADOR DE CORRIENTE DE ALTO VOLTAJE.....</b>	<b>103</b>
<b>FIGURA 14: DISTRIBUCIÓN DE COMPONENTES DEL GENERADOR DE ALTO VOLTAJE .....</b>	<b>104</b>
<b>FIGURA 15: SEDIMENTADOR .....</b>	<b>109</b>
<b>FIGURA 16: FILTROS.....</b>	<b>112</b>
<b>FIGURA 17: SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS INFECCIOSOS.....</b>	<b>115</b>
<b>FIGURA 16: FLYBACK.....</b>	<b>120</b>

<b>FIGURA 17: FLYBACK CON CORRIENTE ELECTRICA .....</b>	<b>120</b>
<b>FIGURA 18: LLENADO DEL REACTOR .....</b>	<b>133</b>
<b>FIGURA 19: ENCENDIDO DEL EQUIPO DE OXIDACIÓN AVANZADA ..</b>	<b>136</b>
<b>FIGURA 20: ADICIÓN DEL FLOCULANTE Y COAGULANTE .....</b>	<b>138</b>
<b>FIGURA 21: FILTRACIÓN DE LA MUESTRA .....</b>	<b>139</b>
<b>FIGURA 22: FILTRACIÓN DE LA MUESTRA .....</b>	<b>140</b>
<b>FIGURA 23: LIMPIEZA DEL EQUIPO .....</b>	<b>141</b>
<b>FIGURA 24: LIMPIEZA DEL EQUIPO .....</b>	<b>142</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>GRAFICO 1: TEMPERATURA VS VOLUMEN DE PERÓXIDO DE HIDROGENO .....</b>	<b>72</b>
<b>GRAFICO 2: PH VS PERÓXIDO DE HIDROGENO.....</b>	<b>72</b>
<b>GRAFICO 3: OZONO VS TIEMPO.....</b>	<b>76</b>
<b>GRAFICO 4: PH VS TIEMPO DE EXPOSICIÓN A OZONO Y RADIACIÓN UV .....</b>	<b>76</b>
<b>GRAFICO 5: TEMPERATURA VS TIEMPO DE EXPOSICIÓN A OZONO Y RADIACIÓN UV .....</b>	<b>77</b>
<b>GRAFICO 6 TASA DE GENERACIÓN DE LODOS.....</b>	<b>87</b>

## ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1: DESCOMPOSICIÓN DEL OZONO .....	45
ECUACION 2: SOLUBILIDAD DEL OZONO EN EL AGUA .....	45
ECUACION 3: RELACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA GLOBAL CON Y SIN REACCION QUIMICA .....	46
ECUACIÓN 4: FORMULA DEL VALOR DEL NTK.....	62
ECUACIÓN 5: CANTIDAD DE OZONO PRODUCIDO .....	124

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1: ENFERMEDADES TRANSMISIBLES POR RESIDUOS</b>	
<b>HOSPITALARIOS .....</b>	10
<b>TABLA 2: COMPOSICIÓN DEL PLASMA SANGUÍNEO .....</b>	
	22
<b>TABLA 3: TECNICAS DE CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS .....</b>	
	33
<b>TABLA 4: NORMA DE DESCARGAS AL SISTEMA DE</b>	
<b>ALCANTARILLADO PÚBLICO .....</b>	34
<b>TABLA 5: RESULTADO DE LOS ANALISIS DE LA MUESTRA SIN</b>	
<b>TRATAR.....</b>	66
<b>TABLA 6: COMPARACION DE LOS RESULTADOS CON LOS LIMITES DE</b>	
<b>DESCARGA.....</b>	67
<b>TABLA 7: DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE PEROXIDO DE</b>	
<b>HIDROGENO REQUERIDO PARA EL TRATAMIENTO.....</b>	71
<b>TABLA 8: COMPARACION DE LOS SST DE LA MUESTRA CRUDA CON</b>	
<b>LA TRATADA CON PEROXIDO DE HIDROGENO .....</b>	74
<b>TABLA 9: DETERMINACION DE TIEMPO DE EXPOSICION A RADIACION</b>	
<b>ULTRAVIOLETA Y DOSIFICACION DE OZONO .....</b>	75
<b>TABLA 10: COMPARACION DE SST DE LAS MUESTRAS CRUDA,</b>	
<b>TRATADA CON PEROXIDO DE HIDROGENO Y CON RADIACION</b>	
<b>ULTRAVIOLETA JUNTO CON OZONO.....</b>	79

<b>TABLA 11: REACTIVOS EMPLEADOS EN EL TRATAMIENTO DE FLOCULACION-COAGULACION .....</b>	<b>80</b>
<b>TABLA 12: COMPARACION DE SST DE LA MUESTRA TRATADA CON OXIDACION AVANZADA CON LA TRATADA CON CAL Y POLIELECTROLITO.....</b>	<b>86</b>
<b>TABLA 13: TASA DE GENERACION DE LODOS .....</b>	<b>87</b>
<b>TABLA 14: ANALISIS DEL EFECTO DEL CAUDAL EN EL PH Y CONDUCTIVIDAD DE LA MUESTRA EN EL FILTRO DE GRAVA.....</b>	<b>89</b>
<b>TABLA 15: COMPARACION DE LOS SST DE LA MUESTRA CON LA MUESTRA FILTRADA CON GRAVA.....</b>	<b>90</b>
<b>TABLA 16: ANALISIS DEL EFECTO DEL CAUDAL EN EL PH Y CONDUCTIVIDAD DE LA MUESTRA EN EL FILTRO DE ARENA.....</b>	<b>91</b>
<b>TABLA 17: COMPARACION DE LOS SST DE LA MUESTRA FILTRADA CON GRAVA CON LA MUESTRA FILTRADA CON ARENA.....</b>	<b>91</b>
<b>TABLA 18: ANALISIS DEL EFECTO DEL CAUDAL EN EL PH Y CONDUCTIVIDAD DE LA MUESTRA EN EL FILTRO DE CARBON ACTIVADO.....</b>	<b>92</b>
<b>TABLA 19: ANALISIS DEL EFECTO DEL CARBON ACTIVADO EN LAS CONCENTRACIONES DE UREA, ACIDO URICO Y EN LA DQO DE LA MUESTRA.....</b>	<b>93</b>

<b>TABLA 20: COMPARACION DE LOS SST DE LA MUESTRA FILTRADA CON ARENA CON LA MUESTRA FILTRADA CON CARBON ACTIVADO.....</b>	<b>94</b>
<b>TABLA 21: ANALISIS DEL EFECTO DEL CAUDAL EN EL PH Y CONDUCTIVIDAD DE LA MUESTRA EN EL FILTRO DE ZEOLITA ...</b>	<b>95</b>
<b>TABLA 22: ANALISIS DEL EFECTO DEL CAUDAL EN EL PH Y CONDUCTIVIDAD DE LA MUESTRA EN EL FILTRO DE ZEOLITA ...</b>	<b>95</b>
<b>TABLA 23: COMPARACION DE LOS SST DE LA MUESTRA FILTRADA CON CARBON ACTIVADO CON LA MUESTRA FILTRADA CON ZEOLITA.....</b>	<b>96</b>
<b>TABLA 24: COMPARACION DE LOS PARAMETROS DE LA MUESTRA TRATADA CON LOS LIMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PUBLICO .....</b>	<b>97</b>
<b>TABLA 25 ANÁLISIS REALIZADOS EN EL LABORATORIO CLÍNICO ....</b>	<b>98</b>
<b>TABLA 26: TASA DE GENERACION DE RESIDUOS LIQUIDOS INFECCIOSOS DEL LABORATORIO CLINICO .....</b>	<b>106</b>
<b>TABLA 27: VOLUMEN DEL SEDIMENTADOR.....</b>	<b>108</b>
<b>TABLA 28: DIMENSIONES DE LA PALETA DE AGITACION.....</b>	<b>109</b>
<b>TABLA 29: DIMENSIONES DE LA CAJA DE MADERA .....</b>	<b>110</b>
<b>TABLA 30: DIMENSIONES DEL SEDIMENTADOR .....</b>	<b>110</b>
<b>TABLA 31: DIMENSIONES DE LOS FILTROS.....</b>	<b>112</b>

<b>TABLA 32: COMPONENTES USADOS EN LA CONSTRUCCION DEL GENERADOR DE CORRIENTE DE ALTO VOLTAJE .....</b>	<b>117</b>
<b>TABLA 33: REACTIVOS UTILIZADOS EN LA TASA DE GENERACION DE OZONO DEL EQUIPO CONSTRUIDO .....</b>	<b>122</b>
<b>TABLA 34: VOLUMEN DE TIOSULFATO DE SODIO USADO EN LA TITULACION.....</b>	<b>123</b>
<b>TABLA 35: PARAMETROS DE LA MUESTRA TRATADA CON EL EQUIPO CONSTRUIDO .....</b>	<b>128</b>
<b>TABLA 36 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO .....</b>	<b>129</b>
<b>TABLA 37 COSTOS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO .....</b>	<b>130</b>
<b>TABLA 38 COMPARACIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN CON MENSUALIDAD DE EMPRESA DE GESTION DE RESIDUOS INFECCIOSOS.....</b>	<b>131</b>

## INTRODUCCIÓN

En las actividades diarias de un laboratorio clínico se generan residuos sólidos y líquidos, estos residuos tienen una característica que los diferencia de los demás, esta es que dentro de su composición tienen sustancias provenientes del ser humano; estas sustancias hacen que el residuo se lo considere infeccioso debido a que existe la probabilidad que agentes patógenos habiten en las sustancias provenientes de los pacientes a los cuales se les realizó los análisis de laboratorio clínico.

Debido a sus características infecciosas los residuos líquidos de laboratorio clínico deben tener una gestión diferente a un residuo líquido que no tiene estas características. Adicionalmente estos residuos líquidos infecciosos no cumplen con parámetros de descarga al sistema de alcantarillado público descrito en el TULAS, es decir no se puede descargar este tipo de residuos líquidos sin recibir un tratamiento previo.

En este trabajo se pretende implementar un sistema de tratamiento de residuos líquidos enfocado en la eliminación de los agentes patógenos que le dan la característica infecciosa, así como también la reducción de los parámetros físico-químicos hasta que se encuentren en el rango establecido en el TULAS y de este modo poder realizar la descarga de este efluente sin infringir las leyes medio ambientales vigentes.

Para el efecto el tratamiento constara con una oxidación avanzada  $O_3/UV/H_2O_2$  para la reducción de la demanda química de oxígeno, así como también la eliminación de los agentes patógenos, un sistema tratamiento de floculación-coagulación con la finalidad de remover las sustancias solidas generadas durante la oxidación avanzada, un sistema de filtración e intercambio iónico de diferentes diámetro de partícula para remover los sólidos que no se precipitaron durante la floculación-coagulación, dentro de este sistema constara un filtro de carbón activado para la remoción de aquellas sustancias orgánicas disueltas que aún se encuentran presente en la muestra.

Con este tratamiento se pretende ajustar la calidad del residuo liquido hasta que se aceptable para su descarga al sistema de alcantarillado público.

# **CAPÍTULO 1**

## **ANTECEDENTES**

## **ANTECEDENTES**

Los laboratorios clínicos son los encargados de analizar diferentes parámetros de los fluidos corporales de los pacientes, estos análisis generan datos que posteriormente son interpretados por un médico y de esta manera se selecciona un tratamiento médico. Para dicho efecto los fluidos corporales más comunes para estos análisis son: la sangre, orina, heces, secreciones de la garganta y secreciones vaginales. Todos estos fluidos corporales son considerados infecciosos, esto se menciona en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua en el artículo 2.40 dice: que se considera como toxica a una sustancia o materia cuando debido a su concentración o características físico-químicas o infecciosas presenta el potencial de:

- a. Causar o contribuir de modo significativo al aumento de la mortalidad, al aumento de enfermedades graves de carácter irreversible o a las incapacitaciones reversibles
- b. Que presente un riesgo para la salud humana o para el ambiente al ser tratados, almacenados, transportados o eliminados de forma inadecuada
- c. Que presente un riesgo cuando un organismo vivo se expone o está en contacto con la sustancia tóxica.

d. Es decir los efluentes generados en un laboratorio clínico son considerados sustancias tóxicas, al ser considerados sustancias tóxicas, la legislación ecuatoriana exige que estos residuos tengan tratamiento apropiado y adicionalmente no se puede mezclar con otros residuos, si esto ocurre, toda la mezcla será considerada una sustancia tóxica. (1)

### **El problema**

Durante la elaboración de los exámenes en un laboratorio clínico, se utilizan fluidos corporales como analitos, los cuales como mencionamos anteriormente, son considerados tóxicos debido a que pueden causar daño a la salud humana y al medio ambiente, adicionalmente no cumplen con ciertos parámetros de descarga al sistema de alcantarillado, estos parámetros no pueden ser reducidos mediante una dilución con agua, ya que si se mezcla un residuo considerado tóxico con alguna otra sustancia, entonces la mezcla entera se la considera tóxica. Es decir estos efluentes de laboratorio clínico necesariamente deben recibir un tratamiento adecuado. Sin embargo esto no sucede en la mayoría de los establecimientos dedicados a esta actividad.

En los laboratorios clínicos a los cuales se visitó previo a la elaboración de este trabajo, pudimos notar que la mayoría de ellos, por no decir todos, no contaban con un sistema de gestión de estos residuos líquidos, simplemente eran vertidos al sistema de alcantarillado sin recibir ningún tratamiento previo.

Los representantes de estos establecimientos nos mencionaron algunos de los factores por el cual no contaban con dicho sistema de tratamientos y los motivos más comunes fueron:

- La falta de equipos de tratamiento de líquidos infecciosos a escala de laboratorio, es decir, solo existen en el mercado equipos para tratar caudales relativamente altos en comparación con los caudales de residuos líquidos generados en un laboratorio clínico
- Los altos precios de instalación y mantenimiento de los equipos existentes en el mercado (autoclave)

Adicionalmente también nos comentaron que las empresas que prestan servicios para la gestión de estos residuos tienen tarifas muy altas y eso con lleva a un incremento en los precios de la elaboración de los exámenes que se realizan en dichos establecimientos.

Es de este modo que hallamos la necesidad de un sistema de tratamiento de residuos líquidos que tenga las siguientes características:

- Eliminación de agentes patógenos
- Reducción de los parámetros físico químicos del residuo líquido al rango que se especifica en el TULAS
- Dimensión para tratar caudales bajos
- Bajo costo de operación
- Bajo costo de mantenimiento.

### **Justificación**

La implementación de un sistema de tratamiento de residuos líquidos infecciosos en un laboratorio clínico es completamente necesaria, la razón que predomina, es el cumplimiento de las leyes medio ambientales, las cuales exigen un adecuado sistema de gestión para este tipo de residuos. En segundo lugar tenemos la falta de equipos que tengan la capacidad de darles un tratamiento adecuado a estos residuos y además que operen con caudales bajos, iguales a la tasa de generación de estos residuos, de esta manera se tiene un equipo que cumple con las exigencias de la ley y que tenga un bajo costo de operación.

### **Alcance**

El sistema de tratamiento de residuos líquidos infecciosos de laboratorio clínico será diseñado únicamente para darle tratamiento a los fluidos corporales (sangre, orina, secreciones de la garganta, etc.) empleados en los análisis de los laboratorios clínicos.

Una vez tratado el residuo líquido, el agua resultante de este tratamiento, no deberá ser usada para el consumo o riego, esta agua debe ser descartada al sistema de alcantarillado de la ciudad.

## **Objetivos**

### **Objetivos generales**

- Implementar un sistema de tratamiento de residuos líquidos de laboratorio clínico

### **Objetivos específicos**

- Diseñar y construir el sistema de tratamientos.
- Implementar el sistema de tratamiento de residuos líquidos de laboratorio clínico.
- Cumplir con los parámetros de calidad de agua para descarga al sistema de alcantarillado.
- Remover todos los agentes patógenos presentes en el residuo líquido de laboratorio clínico.
- El sistema cumplirá con la normativa ambiental respectiva.
- Reducir costos en la gestión del residuo líquido infeccioso.

### **Metodología**

- Investigar las características de los residuos líquidos infecciosos de laboratorio clínico
- Investigar las posibles enfermedades transmisibles por contacto con fluidos provenientes del cuerpo humano

- Tomar las medidas necesarias de seguridad para realizar la experimentación con el fluido infeccioso sin riesgo de contagio
- Realizar análisis iniciales a la muestra cruda y compararlo con los límites de descarga al sistema de alcantarillado público
- Investigar los métodos más eficaces de desinfección para las muestras de líquidos residuales
- Investigar métodos de oxidación para la remoción de DQO y DBO
- Determinar los tratamientos que se les dará a la muestra
- Determinar la cantidad de peróxido que necesita la muestra para oxidar la materia orgánica
- Diseño y construcción del generador de ozono
- Determinar el tiempo de exposición a radiación UV y ozono que requiere la muestra para su oxidación y desinfección
- Determinar los reactivos con su dosificación óptima para el tratamiento de floculación y coagulación
- Determinar el tiempo requerido para que los sólidos sedimenten
- Determinar la tasa de generación de lodos en el sedimentador
- Analizar los efectos del tratamiento en la muestra
- Seleccionar los filtros por los cuales pasará el líquido removido del sedimentador
- Determinar el caudal y tiempo de retención necesario para la remoción óptima de los SST y la DQO

- Analizar la muestra tarada y compararla con los límites permisibles de descarga al sistema de alcantarillado publico
- Realizar análisis de laboratorio clínico para determinar si la muestra tiene algún agente patógeno
- Determinar la tasa de generación de residuos líquidos infecciosos en el laboratorio clínico al cual se implementara este sistema
- Diseñar el sedimentador en base a la tasa de generación y reactivos que se deben adicionar para el tratamiento
- Diseñar el sistema de filtros
- Construir el equipo
- Realizar el manual de operación y mantenimiento
- Puesta en marcha del equipo
- Tratar el residuo líquido infeccioso en el equipo construido
- Analizar la muestra tratada en el equipo y compararla con los límites de descarga al sistema de alcantarillado publico
- Instalación del equipo en el laboratorio clínico.

# **CAPÍTULO 2**

## **MARCO TEORICO**

### **MARCO TEORICO**

#### **Residuos líquidos de laboratorio clínico**

En un laboratorio clínico se generan todo tipo de residuos, líquidos y sólidos, sin embargo la cantidad de residuos líquidos generados es mucho mayor a la de los sólidos y presentan un mayor grado de peligrosidad debido a que los fluidos corporales que son potencialmente infecciosos encuentran

concentrados, los fluidos corporales que conforman los residuos infecciosos de laboratorio son: sangre, orina, secreciones de la garganta, etc.

Además del riesgo biológico que tienen estos residuos líquidos, también tienen características físicas y químicas que las hacen peligrosas para el medio ambiente, esto se debe a las altas concentraciones de materia orgánica y de reactivos utilizados para realizar los respectivos análisis de laboratorio. Es decir los residuos líquidos de laboratorio clínico son un coctel de materia orgánica y de reactivos que presentan un alto riesgo biológico y medio ambiental.

En el paper “manejo de desechos líquidos hospitalarios” autor: Schelker Umweltberatung, se clasifica las enfermedades transmisibles por residuos hospitalarios según su riesgo de contagio, siendo 1 el mínimo y 4 de alto riesgo, el tipo de contagio y la enfermedad infecciosa que este causa. Como se muestra en la tabla número 1.

**TABLA 1: ENFERMEDADES TRANSMISIBLES POR RESIDUOS HOSPITALARIOS**

<b>Enfermedad infecciosa</b>	<b>Tipo de transmisión</b>	<b>Riesgo de contagio</b>	<b>Agente transmisor</b>
<b>SIDA</b>	Contacto directo con piel no intacta	3	Sangre
<b>Hepatitis viral</b>	Contacto directo con piel no intacta	3	Sangre
<b>EET (encefalopatías espongiformes transmisibles)</b>	Contacto directo con piel no intacta	3	Tejidos, sangre, liquido espinal

<b>Enfermedad infecciosa</b>	<b>Tipo de transmisión</b>	<b>Riesgo de contagio</b>	<b>Agente transmisor</b>
<b>CJK, vCJK (enfermedad de Creutzfeldt-Jakob)</b>	Contacto directo con piel no intacta	3	Tejidos, sangre, liquido espinal
<b>Síndrome de Gerstmann-Sträussler-Scheinher</b>	Contacto directo con piel no intacta	3	Tejidos, sangre, liquido espinal
<b>Virus Ebola</b>	Oral	4	Secreciones de la garganta, sangre, orina
<b>Tifoidea / paratifoidea</b>	Oral	3	Heces, orina, billis, sangre

<b>Enfermedad infecciosa</b>	<b>Tipo de transmisión</b>	<b>Riesgo de contagio</b>	<b>Agente transmisor</b>
<b>Fiebres hemorrágicas virales, incl. Hanta (síntomatología renal/FHRS; síntomatología pulmonar/SPH)</b>	Aerogena / infección por gotitas	4	Esputo/secretiones de la garganta, sangre, secreciones de heridas, orina, heces y todos los Demás fluidos corporales.

<b>Enfermedad infecciosa</b>	<b>Tipo de transmisión</b>	<b>Riesgo de contagio</b>	<b>Agente transmisor</b>
<b>Viruela (Variola minor/major Virus)</b>	Aerogena / infección por gotitas	4	Secreciones de la garganta / secreciones de las pústulas, sangre, heces, orina y todos los demás fluidos corporales
<b>Brucelosis (a menudo Brucella abortus /melitensis/suis)</b>	Aerogena / infección por gotitas	3	Sangre

Enfermedad infecciosa	Tipo de transmisión	Riesgo de contagio	Agente transmisor
<b>Poliomyelitis (poliovirus)</b>	Aerogena / infección por gotitas	2	Esputo/secretiones de la garganta, sangre, heces, orina, vómito

Fuente: Schelker Umweltberatung (2)

### ***Características de la sangre***

La sangre es conocida como el “fluido de la vida”, ya que es la encargada de transportar todo dentro del cuerpo, como por ejemplo el oxígeno, glóbulos blancos, electrolitos, etc. La sangre se forma en la medula ósea, este proceso se lo conoce como hematopoyesis. El componente proteico de la sangre es producido en el hígado, mientras que las hormonas se producen en las glándulas endocrinas y la fracción acuosa es mantenida por el riñón y el tubo digestivo.

El movimiento de la sangre se produce por efecto del corazón, que es el que bombea la sangre a través del sistema circulatorio. La sangre sale del corazón

hacia las arterias, las cuales se ramifican rápidamente hasta terminar en pequeños conductos conocidos como vasos capilares.

La sangre abandona los vasos capilares por difusión, de esta manera el oxígeno y los nutrientes abandonan la sangre hacia los tejidos del cuerpo. Una vez terminado este proceso el CO<sub>2</sub> y demás desechos producidos por las células son transferidos a la sangre. Esta sangre con baja concentración de oxígeno se incorpora a la red de venas y es transferida a los pulmones donde es expulsado el CO<sub>2</sub> y se vuelve a concentrar de oxígeno para luego regresar al corazón y empezar un nuevo ciclo de oxigenación. En el caso de los otros desechos generados por las células estos son eliminados por los riñones cuando pasan por este.

La sangre también tiene la función de regular la temperatura corporal, esto lo hace recolectando el calor interno del cuerpo y transportándolo hacia la piel para su disipación. También tiene la función de regular el pH en los tejidos a través de ciertas proteínas y otros elementos presentes en el plasma sanguíneo que cumplen la función de una solución tampón, de esta manera se evitan los cambios bruscos en el pH. Otra de las funciones de la sangre es mantener un adecuado volumen en el sistema circulatorio, esto se debe a la presencia de sales y proteínas que impiden el paso excesivo de líquidos del torrente sanguíneo al interior de los tejidos.

La sangre posee elementos de protección, uno de ellos es la capacidad de coagulación, esto previene la pérdida de sangre cuando uno de los vasos sanguíneos se vea dañado, cubriendo la herida (interna o externa) ayudando a que se regenere sin mayor problema. Otra de las funciones de protección es transportando elementos de defensa como: anticuerpos, proteínas complementarias y glóbulos blancos; estos elementos son los encargados de atacar y eliminar cualquier agente externo del cuerpo tales como bacterias y virus.

La sangre es un fluido opaco, puede tener una coloración rojiza oscura hasta una carmesí, dependiendo de la cantidad de oxígeno disuelta en ella, es algo viscoso (aproximadamente 5 veces la del agua) con un comportamiento no newtoniano, tiene un sabor característico metálico y salado. El volumen de sangre dentro del cuerpo humano está alrededor de 5 y 6 litros en el caso de los hombres y unos 4 a 5 litros, dependiendo del peso de la persona, representando aproximadamente un 8% del peso total de una persona. La sangre tiene un pH entre 7.35 y 7.45 lo que la convierte en un fluido ligeramente alcalino y su temperatura dentro del cuerpo humano ronda los 38 C, ligeramente más alta que la temperatura corporal.

La sangre debido a sus características ayuda mucho a evaluar el estado de salud de una persona, el examen más común que se le realiza es el

hemograma completo. El hemograma consiste en un conteo de diferentes elementos que componen la sangre entre estos están: los glóbulos rojos, glóbulos blancos, hemoglobina, hematocritos y plaquetas.

### ***Características de la orina***

Las propiedades físicas y químicas de la orina son importantes indicadores del estado de salud humana. A través de estos análisis es posible detectar desordenes estructurales y funcionales.

También permite darnos una idea de los procesos bacterianos con el urocultivo y a través de su sedimento se pueden distinguir cristales, células y ver si existe algún proceso inflamatorio.

La orina se genera en los riñones, los cuales son parte del aparato urinario. La formación de la orina consta de 3 etapas las cuales son:

- Filtración
- Reabsorción
- Secreción

Los riñones filtran el plasma y reabsorben la mayoría de lo filtrado, generando una solución concentrada de los desechos transportados por la sangre. Estos desechos son transportados posteriormente a la vejiga donde finalmente son eliminados.

Las propiedades físico-químicas de la orina varían dependiendo del estado de salud y alimentación de cada persona. Es por esto que no podemos definir con exactitud sus características, por lo que mencionaremos sus rangos típicos.

La orina tiene un aspecto transparente, comúnmente de color ámbar-amarillo, esto se debe a la presencia de unos pigmentos llamados urocromos. La intensidad del color depende de la cantidad de líquidos que consume el individuo, a mayor ingesta de agua, menor será la coloración de la orina. La coloración de la orina es un factor clave para identificar una enfermedad más rápidamente, así como la presencia de otros elementos como: espuma, pus, orina lechosa, presencia de moco y linfa.

La orina normalmente es transparente, en ciertos casos puede tener cierta turbidez la cual es causada por la presencia de sales y cristales cuando se deja en reposo. Sin embargo cuando la orina es turbia cuando recién es emitida puede haber la presencia de bacterias, hongos, alteración del pH u otros elementos.

La densidad de la orina depende directamente de la concentración total de solutos, los rangos típicos de la orina varían desde un 1005 hasta un máximo de  $1030 \frac{Kg}{m^3}$ .

El pH de la orina generalmente es ácido y su rango varía entre 4.5 y 8.2, aunque los valores más comunes son entre 5.5 y 6. Si la orina tiene un valor de pH superior a 6.5 indica la presencia de una infección urinaria.

La orina se compone principalmente por agua la cual representa un 95% del volumen, 2% de sales minerales y un 3% de Urea. En ciertos casos en los cuales la persona se encuentra enferma se pueden hallar otros compuestos en la orina como la glucosuria, hematuria, bacteriuria, entre otros.

### ***Sangre y sus componentes***

La sangre como todo tejido está compuesto por células, es decir materia orgánica y materia inorgánica. Estos 2 tipos de compuestos se dividen en los elementos formes y el plasma sanguíneo.

Los elementos formes también llamados elementos figurados son elementos semi-sólidos los cuales comprenden alrededor de un 45% de la sangre. Estos elementos están representados por las células presentes en la sangre entre ellas tenemos a los glóbulos rojos y los glóbulos blancos.

Los glóbulos rojos comprenden el 96% de los elementos formes, los valores típicos en las mujeres oscila alrededor de los 4800000 y 5400000 hematíes/mm<sup>3</sup> hematíes por microlitro en los hombres. Los glóbulos rojos están compuestos en mayor parte por hemoglobina y una proteína encargada de transportar oxígeno y nutrientes a los tejidos, una vez cumplida esta función se encarga de transportar los desechos a los riñones y el CO<sub>2</sub> a los pulmones, esto lo realiza gracias a la presencia de la hemoglobina, este compuesto es el que le da el color rojo característico a la sangre.

Los glóbulos rojos tienen la forma de discos bicóncavo deprimido en el núcleo. Esta forma ayuda a tener una mayor superficie de contacto de la membrana. Los glóbulos rojos se forman en la médula ósea.

Los glóbulos blancos forman parte de los elementos formes de la sangre, estas células forman parte del sistema inmune y tienen la capacidad de migrar hacia diferentes partes del cuerpo utilizando el torrente sanguíneo como medio de transporte. Los glóbulos blancos son los encargados de destruir todos los agentes infecciosos y las células infectadas, y también tienen la capacidad de segregar anticuerpos que ayudan a combatir las infecciones.

El conteo normal de los glóbulos blancos se encuentra en un rango de 4500 y 11500 células por microlitro de sangre.

Dentro de los elementos formes también se encuentran las plaquetas. Las plaquetas son fragmentos celulares, estos se producen en la médula ósea a partir de la fragmentación del citoplasma de los megacariocitos. La función de las plaquetas es la de sellar las lesiones que afectan a los vasos sanguíneos. Durante la coagulación de la sangre, las plaquetas ayudan en la formación de coágulos de sangre para evitar la pérdida excesiva de la sangre. Esto lo logra formando una red para sellar los glóbulos rojos, red que se coagula y convierte en una costra, deteniendo así el sangrado.

El otro componente de la sangre es el plasma sanguíneo. Este representa la porción líquida de la sangre en la que se encuentran los elementos formes. El

plasma representa un 55% del volumen total de la sangre, siendo una solución acuosa ligeramente más densa que el agua debido a la presencia de sales y proteínas estas representan el 8% en peso del plasma del plasma mientras que el 91% restante es agua.

Las proteínas que se encuentran presente en el plasma se encuentran los fibrinógenos, las que ayudan a formar los coágulos, las globulinas que regulan el contenido de agua en las células, las albuminas que ejercen la presión osmótica, la lipoproteína que regula el pH, entre otras.

La composición del plasma sanguíneo se la presenta en la siguiente tabla:

**TABLA 2: COMPOSICIÓN DEL PLASMA SANGUÍNEO**

<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
<b>Agua</b>	90% del volumen del plasma
<b>Proteínas</b>	8% en peso del plasma
<b>Albumina</b>	60% de las proteínas en plasma

<b>Globulinas</b>	36% de las proteínas en plasma
<b>Proteínas coagulantes</b>	4% de las proteínas en plasma
<b>Otras proteínas</b>	Enzimas, hormonas, proteínas antibacteriales
<b>Sustancias nitrogenadas no proteicas</b>	Ácido láctico, urea, ácido úrico, creatinina, sales amónicas
<b>Nutrientes orgánicos</b>	Glucosa, carbohidratos, aminoácidos, ácidos grasos, glicerina, triglicéridos, colesterol y vitaminas
<b>Electrolitos</b>	Sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruros, fosfatos, sulfatos y bicarbonatos
<b>Gases respiratorios</b>	O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub>

Fuente: anatomía de la sangre humana

Autor: Ing. Tomás Bruzos (3)

### **Orina y sus componentes**

La orina está compuesta normalmente por un 2% de sales minerales un 3% de urea y ácido úrico y un 95% de agua.

La urea es un compuesto químico cristalino e inodoro, el cual se encuentra en abundancia en la orina y la materia fecal debido a que es el producto final del metabolismo de la mayoría de los seres vivos del reino animal. La orina humana contiene aproximadamente unos 20g por litro de urea. La urea se forma en el hígado.

El nitrógeno presente en la urea representa el 80% del total del nitrógeno de la orina. La urea es soluble en agua y alcohol y puede ser sintetizada artificialmente en un proceso llamado la síntesis de wohler.

El ácido úrico es un compuesto orgánico, al ser producto del metabolismo del nitrógeno en el cuerpo humano se encuentra en la orina en pequeñas cantidades.

La orina tiene sales inorgánicas que son los restos de los electrolitos de la sangre, estos están comprendidos por aniones y cationes.

### ***Enfermedades transmisibles por fluidos corporales***

Las enfermedades transmisibles son causadas por un agente específico o sus productos tóxicos, que se produce por su transmisión desde una fuente a un huésped susceptible. Las formas de contagio más comunes de estas enfermedades son: contacto directo, rociado con gotitas, exposición directa de tejidos susceptibles, mordeduras, vehículos inanimados, agua, aire y alimentos contaminados. Los agentes transmisores de las enfermedades

(protozoarios, metazoarios, bacterias, virus, hongos, etc.) utilizan estos medios para ingresar dentro del huésped y causar la enfermedad que los caracteriza.

La exposición a la sangre y otros fluidos corporales contaminados con agentes infecciosos constituye un riesgo común para los trabajadores del área de la salud. El riesgo de presentar un accidente por un mal manejo de fluidos corporales es significativo.

Se han reportado más de 20 enfermedades por transmisión percutánea, dentro de estas enfermedades tenemos las más comunes que son: el VIH, la hepatitis B y Hepatitis C. Se estima que las probabilidades de ser infectados por esos virus debido a una exposición accidental es de un 0.3% en el caso del VIH, entre un 2 a un 10% en el caso de la hepatitis B y entre un 6 y 30% para la hepatitis C. Existen una gran variedad de enfermedades que se transmiten por el contacto con fluidos corporales, siendo las más peligrosas las que se transmiten por vía sanguínea ya que estas están comprendidas por virus y bacterias que pueden causar la muerte del huésped. En el caso de las enfermedades transmisibles por contacto con orina infectada, la peligrosidad de las enfermedades se ve disminuida, sin embargo el riesgo de contagio es mucho mayor a la de los agentes patógenos de la sangre. Esto se debe a que la evacuación de la orina es un proceso que las personas realizan diariamente por lo que la cantidad de virus y bacterias que abandonan el cuerpo del huésped para buscar otro será mucho mayor al de los que habitan en el torrente sanguíneo.

Los agentes causantes de estas enfermedades tienen un tiempo de vida en el cual pueden sobrevivir fuera del huésped, sin embargo dadas ciertas condiciones en las cuales se encuentre el fluido en las que habitan estos patógenos, este tiempo puede alargarse o acortarse significativamente, esto para el caso de los agentes patógenos que no tienen la capacidad de sobrevivir sin la presencia de un huésped. Para el caso de otros microorganismos que tienen la capacidad de vivir en la intemperie esto no aplica, ya que se conocen ciertos microorganismos que tienen la capacidad de sobrevivir sin un huésped, como es el caso de las amebas por ejemplo.

Entre las enfermedades más comunes que se transmiten por un mal manejo de los fluidos corporales de individuos infectados son

- Hepatitis
- Rubeola
- Tuberculosis
- VIH

### ***Manejo de residuos líquidos infecciosos***

Los residuos infecciosos son aquellos que contienen microorganismos tales como, bacterias, virus, hongos y recombinantes como toxinas con la concentración suficiente para producir una enfermedad infecciosa en cualquier huésped. Todos los residuos, no infecciosos, que hayan tenido contacto con

residuos considerados infecciosos, deben ser considerados infecciosos y deben ser tratados como tal. Los residuos infecciosos se clasifican en:

- Biosanitarios
- Cortopunzantes
- Anatomopatológicos humanos
- Material vegetal contaminado

Los desechos biosanitarios son todos los elementos que se utilizan durante un proceso en el que hayan tenido contacto con materia orgánica, o cualquier otra sustancia con el potencial de causar una infección.

Los desechos anatomopatológicos humanos están comprendidos por todos los desechos humanos provenientes de portadores de enfermedades infectocontagiosas o cualquier otro elemento que haya tenido contacto con estos elementos.

Los desechos cortopunzantes son todos aquellos elementos que tienen la capacidad de lesionar la piel y que hayan tenido contacto con algún fluido corporal.

Todos estos residuos antes mencionados deben tener un sistema de manejo especial, debido a sus características infecciosas, sin embargo cada tipo de residuo infeccioso debe tener un manejo personalizado dadas sus características individuales.

Los pasos a seguir para el manejo adecuado de los residuos infecciosos son:

- Identificación
- Recolección
- Almacenamiento
- Tratamiento y disposición final

La etapa de identificación ayuda a medir la tasa de generación de estos residuos, lo que permite tener contenedores separados para cada tipo de residuo, facilitando así la fase de recolección y evitando que estos residuos se mezclen.

Una vez identificada la tasa de generación de los residuos se deben implementar los contenedores con la simbología y color respectivo para cada tipo de desecho, esto con la finalidad de la fácil identificación de los residuos para su posterior almacenamiento. En el caso de los residuos infecciosos, estos contenedores deben tener necesariamente una bolsa de color rojo, esta indica que el material contenido es peligroso.

Este procedimiento de recolección debe realizarse con cuidado y usando los equipos de protección personal, para evitar cualquier contacto directo del material infeccioso con la piel humana.

En la etapa de almacenamiento (de ser necesaria), el cuarto de almacenamiento debe tener la señalización respectiva para evitar el ingreso de personal no autorizado, dicho cuarto debe estar completamente aislado,

teniendo todos los elementos para evitar el acceso de vectores que puedan trasladar partículas del residuo, vectores tales como aguas lluvia, viento, insectos y todo tipo de animales. Para mantener un ambiente limpio esta habitación debe estar equipada con la iluminación y ventilación para eliminar la generación de olores.

Todos los desechos con riesgo de infección antes de ser almacenados deben pasar por un proceso de desactivación, ya sea con químicos o con vapor a alta presión.

Una vez completado el ciclo de almacenamiento, el cuarto debe ser limpiado y desinfectado, para este efecto, el cuarto debe tener paredes lavables, preferiblemente cubierta con baldosas, que facilitan la tarea de limpieza y desinfección.

Finalmente el cuarto de almacenamiento debe estar equipado con implementos de seguridad, tales como extintores en caso de que ocurra un incendio o algún otro siniestro.

En el caso de que el establecimiento cuente con un sistema de tratamiento de residuos infecciosos, ya sean sólidos o líquidos, deben tomarse en cuenta todos los procedimientos al manipular estos materiales. El tratamiento para estos tipos de residuos puede ser:

- Autoclaveado
- Desinfección química

- Microondas
- Vapor a alta presión

En el caso de que el establecimiento no cuente con un sistema de tratamiento de estos residuos, estos deben permanecer almacenados hasta que una entidad externa se encargue de la disposición final de estos materiales. Esta entidad debe contar con los permisos y debe cumplir con los procedimientos adecuados para la disposición final de estos materiales.

### ***Toma y manejo de las muestras***

Para el muestreo, preparación de recipientes de muestra, manejo y almacenamiento se siguieron los procedimientos y se tomaron en cuenta las recomendaciones que aparecen en la NTE INEN 2176:98.

Se prepararon 2 procedimientos con sus respectivas técnicas y equipos necesarios para el muestreo del residuo líquido. Cada procedimiento está relacionado con el tipo de análisis que se le realizó, en el caso de los residuos líquidos de laboratorio clínico se tomaron 3 muestras, una con la finalidad de análisis químico, microbiológico y biológico.

Dadas las características del residuo líquido, cuyo origen son los fluidos corporales, se asumió que la composición de los componentes que forman el residuo no tiene variaciones significativas en las concentraciones de los componentes que afectan a la calidad del agua. Por lo que se procedió a tomar

una muestra, que tiene una concentración de sus componentes muy parecida en todo el tiempo, la cual consideramos una muestra representativa.

En la norma INEN 2 169:98 se muestran los recipientes apropiados para minimizar las alteraciones en las muestras que van a ser recolectadas.

El residuo líquido de laboratorio clínico se caracteriza por tener una alta cantidad de materia orgánica, por lo que se debe tener en cuenta los siguientes puntos para la selección del recipiente más adecuado.

- El contenedor no debe estar contaminado
- El contenedor debe estar hecho de un material inerte que no adsorba ni absorba ningún componente orgánico presente en la muestra
- El contenedor debe ser preferiblemente de color ámbar ya que esto reduce la actividad fotosensitiva
- Los contenedores de muestras que contengan contaminantes orgánicos en trazas, deben ser de vidrio y su tapa debe ser de PTFE
- Los contenedores que almacenaran muestras destinadas al análisis microbiológico deben ser de vidrio o plástico de la mejor calidad y estar libres de sustancias tóxicas con una capacidad mínima de 300 cm<sup>3</sup>, con tapas de vidrio esmerilado o tornillo
- Estas muestras una vez ya recolectadas, deben tener un registro de identificación. En el cual debe constar el origen de las muestras, condiciones en las cuales se las recogió.

- En el etiquetado del envase debe constar la siguiente información
- Detalles del punto de muestreo
- Fecha de la recolección
- Método de recolección
- Hora de la recolección
- Nombre del recolector
- Condiciones atmosféricas
- Naturaleza del pre tratamiento
- Persevante o estabilizador
- Datos recogidos en el campo

### **ALMACENAMIENTO DE LAS MUESTRAS**

Una vez que las muestras hayan sido etiquetadas se procede al almacenamiento, en el cual deben mantenerse a una temperatura más a la cual se recolecto. Esta refrigeración debe realizarse inmediatamente luego del muestreo, para el efecto se pueden usar, cajas térmicas o refrigeradores de campo. Los recipientes deben estar casi llenos pero no completamente

Debe tenerse en cuenta que el enfriamiento de la muestra permite preservar la muestra por un corto periodo de tiempo, por lo cual no es efectivo para mantenerlas almacenadas por un largo periodo.

Los periodos de almacenamiento de muestras se muestran en la siguiente tabla:

**TABLA 3: TECNICAS DE CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS**

<b>Parámetro</b>	<b>Técnica de conservación</b>	<b>Tiempo máximo de conservación recomendado antes del análisis</b>
<b>Acidez y alcalinidad</b>	Refrigeración	1 día
<b>DBO</b>	Refrigeración en oscuridad	1 día
<b>Carbono orgánico</b>	Acidificar a pH menor a 2 y refrigerar en la oscuridad	1 semana
<b>DQO</b>	Acidificar a pH menor a 2 y refrigerar en la oscuridad	5 días
<b>Nitratos</b>	Acidificar a pH menor a 2 y refrigerar	1 día
<b>Sulfatos</b>	Refrigerar	1 semana
<b>Solidos suspendidos</b>	-	1 día
<b>Solidos totales</b>	Refrigerar	1 día

Fuente: norma INEN 2 169:98

Autor: INEN (4)

### Normas de descargas de efluentes al sistema de alcantarillado público

En la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua nos menciona ciertos lineamientos que se deben seguir al momento de realizar una descarga de un líquido que fue empleado en un proceso.

La norma también menciona la prohibición de descargar sustancias que pudieran bloquear las tuberías y accesorios. También se prohíben la descarga de sustancias tóxicas o que incumplan los siguientes parámetros:

**TABLA 4: NORMA DE DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO**

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
<b>Aceites y grasas</b>	Sustancias solubles en hexano	Mg/l	100
<b>Alkil mercurio</b>		Mg/l	No detectable
<b>Ácidos o bases que puedan</b>		Mg/l	Cero

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
<b>causar contaminación</b>			
<b>Aluminio</b>	Al	Mg/l	5.0
<b>Arsénico total</b>	As	Mg/l	0.1
<b>Bario</b>	Ba	Mg/l	5.0
<b>Cadmio</b>	Cd	Mg/l	0.02
<b>Carbonatos</b>	CO <sub>3</sub>	Mg/l	0.1
<b>Caudal máximo</b>		l/s	1.5 veces el caudal promedio en el horario del sistema de alcantarillado
<b>Cianuro total</b>	CN	Mg/l	1.0
<b>Cobalto total</b>	Co	Mg/l	0.5
<b>Cobre</b>	Cu	Mg/l	1.0
<b>Cloroformo</b>	Extracto carbón cloroformo	Mg/l	0.1
<b>Cloro activo</b>	Cl	Mg/l	0.5

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
<b>Cromo hexavalente</b>	Cr6	Mg/l	0.5
<b>Compuestos fenólicos</b>	Expresado como fenol	Mg/l	0.2
<b>Demanda bioquímica de oxígeno</b>	DBO	Mg/l	250
<b>Demanda química de oxígeno</b>	DQO	Mg/l	500
<b>Dicloroetileno</b>	Dicloroetileno	Mg/l	1.0
<b>Fosforo total</b>	P	Mg/l	15
<b>Hierro total</b>	Fe	Mg/l	25.0
<b>Hidrocarburos totales de petróleo</b>	THP	Mg/l	20
<b>Manganeso total</b>	Mn	Mg/l	10.0
<b>Materia flotante</b>	Visible	-	Ausencia
<b>Mercurio total</b>	Hg	Mg/l	0.01
<b>Níquel</b>	Ni	Mg/l	2.0
<b>Nitrógeno total</b>	N	Mg/l	40

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
<b>Plata</b>	Ag	Mg/l	0.5
<b>Plomo</b>	Pb	Mg/l	0.5
<b>Potencial hidrogeno</b>	pH	-	5-9
<b>Solidos sedimentables</b>	-	MI/l	20
<b>Solidos suspendidos totales</b>	-	Mg/l	220
<b>Solidos totales</b>	-	Mg/l	1600
<b>Selenio</b>	Se	Mg/l	0.5
<b>Sulfatos</b>	SO <sub>4</sub>	Mg/l	400
<b>Sulfuros</b>	S	Mg/l	1.0
<b>Temperatura</b>	C	-	<40
<b>tensoactivos</b>	sustancias activas al azul de metileno	Mg/l	2.0
<b>Tricloroetileno</b>	Tricloroetileno	Mg/l	1.0
<b>Tetracloruro de carbono</b>	Tetracloruro de carbono	Mg/l	1.0

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
<b>Sulfuro de carbono</b>	Sulfuro de carbono	Mg/l	1.0
<b>Compuestos organoclorados totales</b>	Concentración de organoclorados	Mg/l	0.05
<b>Organofosforados y carbamatos</b>	Concentración de organofosforados y carbamatos totales	Mg/l	0.1
<b>Vanadio</b>	V	Mg/l	5.0
<b>Zinc</b>	Zn	Mg/l	10

Fuente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua TULAS (5)

### **Parámetros del residuo líquido infeccioso que incumplen los límites permisibles de la norma de descarga al sistema de alcantarillado público**

Dadas las características de los componentes del residuo que se desea tratar (orina y sangre), podemos predecir los parámetros que no cumplirán con los parámetros de descarga mencionados anteriormente. Dichos parámetros son:

- DBO
- DQO

- Nitrógeno total
- Sólidos sedimentables
- Sólidos suspendidos totales

### **DBO**

La demanda bioquímica de oxígeno es un parámetro que mide la cantidad de materia que se oxida por medios biológicos (bacterias anaerobias facultativas, aerobias, hongos y plancton) contenidos en una muestra líquida, esta materia se puede encontrar disuelta o suspendida.

El método de análisis mide la cantidad de oxígeno consumido por una colonia de microorganismos en condiciones en las que se han inhibido los procesos fotosintéticos ya que estos favorecen la producción de oxígeno alterando así el resultado real del consumo de oxígeno.

El ensayo tiene una duración de 5 días, en ausencia de aire, y consiste en medir la concentración de oxígeno presente en el agua antes y después de la incubación de los microorganismos. Los resultados de este análisis se expresan como mg/l de O<sub>2</sub>. Dichos resultados permiten calcular los efectos de las descargas de efluentes sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.

Las razones por la cual la muestra tomada incumple con los parámetros de descarga, es la alta concentración de componentes orgánicos, ya que la

muestra comprende principalmente lo que es sangre y orina, ambos tienen altas concentraciones de material orgánico.

## **DQO**

La demanda química de oxígeno es un parámetro que mide la cantidad de sustancias que pueden ser oxidadas por medios químicos que se encuentran suspendidos o disueltos en un medio líquido. Al igual que la DBO el resultado se expresa como mg/l de O<sub>2</sub>.

Dentro de la DQO se encuentra inmerso el valor de la DBO, es decir, se mide el oxígeno consumido por los microorganismos junto con el oxígeno consumido por la presencia de material inorgánico.

Los resultados obtenidos durante el análisis de la DQO pueden sufrir alteraciones por la presencia de sustancias inorgánicas con una tendencia a oxidarse tales como: sulfuros, sulfitos, yoduros, etc. Este análisis se ve limitado a las muestras de agua con una cantidad considerable de materia orgánica.

A pesar de que la muestra tomada tiene una baja concentración de materia inorgánica, la concentración de materia orgánica es muy alta, es decir, debido a la aportación de DQO por parte de materia inorgánica la muestra excede los niveles permitidos de descarga al sistema del alcantarillado.

### **Nitrógeno total Kjeldahl**

El nitrógeno en un medio acuoso existe en las formas de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos. Los compuestos nitrogenados se encuentran en la naturaleza en diversas formas. Las fuentes principales de nitrógeno en la naturaleza son la degradación natural de materia orgánica.

En las aguas que no han recibido un tratamiento se encuentra la presencia de nitrógeno orgánico y amoniacal.

Debido a que el nitrógeno es un nutriente muy importante para los organismos fotosintéticos, es importante darle un monitoreo y control de descargas.

En la muestra de residuo líquido de laboratorio clínico se excede el límite de nitrógeno total, esto se debe a que la sangre contiene compuestos nitrogenados, del mismo modo la orina contiene una alta concentración de compuestos nitrogenados, como por ejemplo la urea y sales inorgánicas.

### **Sólidos sedimentables**

Son aquellos sólidos que se sedimentan en el fondo de un recipiente, para el método se utiliza un recipiente de forma cónica y se deja reposar el líquido en un determinado tiempo.

En los desechos de laboratorio clínico se tienen una gran cantidad de sólidos sedimentables, esto se debe a que al transcurrir el tiempo, el anticoagulante aplicado al momento de la toma de la muestra de sangre, deja de surtir efecto. Y se forman coágulos de sangre de gran tamaño.

### **Sólidos suspendidos totales**

Representa la cantidad de sólidos que se encuentran suspendidos en el agua después de 10 minutos de asentamiento.

En los residuos líquidos de laboratorio clínico se tiene una alta concentración de sólidos suspendidos, esto se debe a la presencia de los compuestos de la sangre que no se coagularon, del mismo modo se encuentran algunas sustancias inorgánicas presentes en la orina.

### **Tratamiento del residuo líquido infeccioso**

Dada las características del residuo líquido infeccioso generado en un laboratorio clínico, el tratamiento que se le dará a este efluente consta de 3 etapas

- Filtración
- Oxidación avanzada O<sub>3</sub>/UV
- Floculación-coagulación
- Intercambio iónico

## **Filtración**

En los análisis iniciales de los residuos líquidos generados en un laboratorio clínico, se determinó una alta cantidad de sólidos sedimentables, 35ml/l de sólidos sedimentables, estos sedimentos están conformados por los coágulos de sangre.

Dichos coágulos de sangre tienen una forma cilíndrica, de 0.5cm de diámetro y 1 pulgada de largo. Debido a que los sedimentos tienen esta forma y por estar compuestos netamente por materia orgánica requerirían de un largo tiempo de retención al momento de realizar el tratamiento de oxidación, lo cual no es eficiente, el método más viable para tratar estos sedimentos, es separarlos del medio acuoso en el cual se encuentra presente y manejarlo como un residuo sólido.

## **Oxidación avanzada O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

El ozono es un compuesto inestable altamente oxidante, tiene la capacidad de degradar la materia orgánica, destruir microorganismos como bacterias, virus, hongos, algas, etc. Debido a estas características se lo emplea mucho en los procesos de tratamiento de aguas que tienen una alta carga orgánica.

En los residuos de laboratorio clínico se determinó una concentración de carbono orgánico total de 10830 ppm, debido a este valor varios autores mencionan como el método más eficiente una oxidación avanzada para la remoción de la materia orgánica con esta concentración de carbono orgánico

total, sin embargo dada la baja tasa de producción de este residuo, la alta concentración de materia orgánica que se encuentra presente en la muestra y la alta cantidad de microorganismos presentes en los residuos de laboratorio clínico, el método más efectivo es el uso de oxidación con ozono complementado con radiación UV.

La oxidación O<sub>3</sub>/UV consta de una fase homogénea en la cual ocurren procesos fotoquímicos y químicos, los cuales son los encargados de oxidar la materia orgánica.

Este tratamiento tiene como finalidad la generación de radicales hidroxilos a partir del acoplamiento de sustancias oxidantes (O<sub>3</sub>, UV, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, ClO<sub>2</sub>, catalizadores, etc.). De todos los oxidantes mencionados el ozono tiene el potencial de óxido-reducción más elevado, 2.07 volts en comparación al O<sub>2</sub>, ClO<sub>2</sub> y Cl<sub>2</sub> con 1.78, 1.57 y 1.35 volts respectivamente.

El gran poder oxidante del ozono hace que este compuesto sea muy interesante en el tratamiento de aguas, ya que tiene la capacidad de eliminar sabores, olores, color, compuestos orgánicos, compuestos refractarios y una gran variedad de compuestos inorgánicos, cosa que no se logra fácilmente con procesos convencionales.

Los mecanismos de reacción del ozono con la materia orgánica presente en un medio líquido son muy complejos, sin embargo hoy en día se acepta que la reacción tiene lugar según 2 grandes vías de acción.

1. Acción directa y selectiva del ozono sobre los compuestos orgánicos que tienen una alta densidad electrónica, átomos con dobles o triples enlaces, como por ejemplo, C=C y N=N
2. Acción indirecta del tipo radical no selectiva sobre la materia orgánica, el principal componente oxidante es el radical OH producido por la descomposición del ozono en un medio acuoso, esta reacción puede ser acelerada por pH elevados y/o por el efecto de un catalizador como el óxido de hierro o el óxido de manganeso e incluso la misma materia orgánica.

La velocidad de oxidación de la materia orgánica en un tratamiento con ozono depende directamente de las velocidades de reacción del ozono y de los radicales OH generados durante la descomposición del ozono. Como se muestra en la siguiente ecuación:

$$-\frac{d[M]}{dt} = K_{O_3} \frac{[M]}{M} [O_3] + K_{OH} \frac{[M]}{M} [OH]$$

***Ecuación 1: descomposición del ozono***

Sin embargo en dicha ecuación está implícito el proceso de transferencia de ozono en el agua, ya que no todo el ozono suministrado se disuelve en el agua. El ozono que se disuelve en el agua se lo puede calcular con la ecuación de transferencia de masa.

$$N_{O_3} = K_l a * E([O_3]_{lr} - [O_3]_l)$$

***Ecuación 2: solubilidad del ozono en el agua***

En donde:

$[O_3]_{lr}$ : la concentración del ozono en el líquido en el equilibrio

$[O_3]_l$ : la concentración del ozono en el líquido

La expresión E representa la relación del coeficiente de transferencia global con y sin reacción química

$$E = \frac{K_{lar}}{K_{la}}$$

**Ecuación 3: relación del coeficiente de transferencia global con y sin reacción química**

$K_{lar}$ : coeficiente de transferencia global con reacción química

$K_{la}$ : coeficiente de transferencia global sin reacción química

Este tratamiento cuenta también con la intervención de radiación ultravioleta para complementar el tratamiento. El tratamiento con UV funciona transfiriendo energía electromagnética de la lámpara al material genético del organismo, ADN. Esta radiación al dañar el ADN del microorganismo destruye las capacidades reproductivas de dicho ser.

La eficacia de este tratamiento depende directamente de las características físicas del agua que se desea tratar, la intensidad de la radiación aplicada, el tiempo de exposición a la radiación y las características del reactor.

La longitud de onda más adecuada para desactivar los microorganismos se encuentran en un rango de 250nm a 270nm. Se debe tener en cuenta que la intensidad de la radiación producida disminuye a medida que la distancia entre la fuente y el cuerpo receptor aumenta.

Existen 2 tipos de configuraciones del reactor para un sistema de desinfección UV, estas son: mediante contacto y sin contacto. En el caso del reactor de contacto, las lámparas están cubiertas con una capa de cuarzo para evitar el enfriamiento de las lámparas UV. Para el caso del reactor sin contacto las lámparas se encuentran suspendidas sobre el medio acuoso, es decir no tiene contacto con el líquido.

### **Floculación-coagulación**

Las aguas sin tratar por lo general contienen cantidades de materia suspendida, esta materia por lo general son sólidos que pueden sedimentar en reposo, o sólidos dispersados que no se sedimentan con facilidad.

En su gran mayoría los sólidos que no sedimentan son coloides. En los coloides, las partículas se encuentran estabilizadas por cargas del mismo signo sobre su superficie, esto causa que las partículas se repelan evitando la formación de flóculos y por ende no sedimentaran (6). Para el tratamiento de coagulación y floculación se agregan agentes químicos para desestabilizar los coloides y lograr su sedimentación.

Durante la coagulación se desestabilizan los coloides mediante la eliminación de las capas eléctricas que rodean todas las partículas que envuelven a los coloides mediante la formación de núcleos microscópicos. Para lograr un buen efecto de los químicos adicionados para la coagulación se debe realizar un mezclado.

El mezclado promueve el choque de las partículas, esto es necesario para que dichas partículas se aglomeren.

En el caso de que la formación de floculos obtenidos por la adición del coagulante sea muy pequeña y no sedimenten con una velocidad eficaz, es conveniente el uso de floculantes.

Los floculantes reúnen las partículas coloidales formando puentes, es decir enlazando las partículas individuales y de esta manera forma aglomerados de la misma. La floculación es estimulada por un mezclado muy lento que causa que las partículas choquen y se adhieran entre sí, es por esto que el mezclado debe ser lento, ya que si se lo hace a una gran velocidad, estos aglomerados podrían deshacerse. La floculación ayuda a una sedimentación más rápida y a un mejor manejo del lodo final para su disposición final.

### **Intercambio iónico**

El intercambio iónico se basa en la transferencia de materia fluido-sólido. Durante la operación de intercambio iónico ocurre una transferencia de iones

de la fase líquida al sólido por el desplazamiento de iones de igual carga, los cuales se encuentran unidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales superficiales. Este proceso depende directamente del equilibrio sólido-líquido y del tiempo de retención de la fase líquida con la fase sólida. Los sólidos usados para el intercambio suelen ser polímeros, los más habituales son resinas sintéticas.

Una resina de intercambio iónico tiene una estructura de cadenas hidrocarbonadas las cuales poseen grupos iónicos libres. Las cadenas se encuentran unidas formando una matriz tridimensional la cual es la que proporciona rigidez a la resina, mientras que la porosidad se encuentra determinada por el grado de reticulación.

Las cargas de los grupos iónicos se equilibran con las de los otros iones, de signo opuesto, estos se los denomina contraiones, que se encuentran libres y son los que se intercambian con los iones presentes en la fase líquida. Existen intercambiadores catiónicos y aniónicos.

El intercambio iónico se la puede representar con una reacción reversible implicando cantidades químicamente equivalentes.

# **CAPÍTULO 3**

## **TOMA DE LA MUESTRA Y ANÁLISIS DE LABORATORIO**

### **Procedimiento de la toma y conservación de la muestra**

1. Usar recipientes apropiados para la toma de la muestra, el cual debe ser de polietileno, debido a que este recipiente no reacciona con la muestra a analizar, se debe tener dichos recipientes apartados y dedicados solo al uso de toma de muestra, y así evitar los riesgos de contaminación cruzada, enfermedades, contagios, provenientes de los residuos líquidos infecciosos.
2. Evitar que nuestro recipiente hayan estado en contacto con muestras de alta concentración de algún elemento y contaminen posteriormente a nuestra muestra.

### **Preparación de Recipientes.**

1. Lavar los recipientes nuevos con el fin de minimizar la contaminación de la muestra, estos se deben lavar con agua y detergente para retirar el polvo y los residuos del material de empaque, luego enjuagar con agua destilada o desionizada.
2. Preparar recipientes para el análisis microbiológico, el cual debe resistir la temperatura de esterilización de 175° C durante 1 hora y no deben producir o realizar cambios químicos, debido a que a esta temperatura se inhibe la actividad biológica, se necesita usar recipiente de policarbonato y de polipropileno resistente al calor para la esterilización, estos recipientes deben estar libres de ácidos, álcalis y compuestos

tóxicos; Si los recipientes usados son de vidrio estos se deben lavar con agua y detergente seguido de un enjagüe con agua destilada para remover cualquier residuo de metales pesados o de cromatos.

### **Llenado del Recipiente**

1. Llenar los frascos completamente y taparlos de tal forma que no exista aire sobre la muestra. Esto limitará la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte
2. Llenar los frascos dejando un espacio de aire después de colocar la tapa, para el análisis microbiológico, esto permitirá mezclar la muestra antes del análisis y evitar su contaminación accidental.

### **Refrigeración y Congelación de las muestras.**

1. Las muestras deben guardarse a temperaturas más bajas que la temperatura a la cual se recolectó, la refrigeración o congelación de las muestras es efectiva si se realiza inmediatamente luego de la recolección de la muestra, el simple enfriamiento y el almacenamiento en un lugar oscuro, en muchos casos, es suficiente para conservar la muestra durante su traslado al laboratorio y por un corto periodo de tiempo antes del análisis, el enfriamiento no se debe considerar como un método de almacenamiento para largo tiempo (4).

### **Filtración de muestras**

1. La materia en suspensión, los sedimentos y otros microorganismos deben ser removidos en el momento de tomar la muestra o inmediatamente después de la filtración. La filtración no es aplicable si el filtro es capaz de retener uno o más de los componentes a ser analizados. Se debe tener cuidado con el filtro ya que este puede ocasionar contaminación de la muestra, este filtro debe lavarse cuidadosamente antes del uso. Las membranas se deben usar cuidadosamente ya que varios metales pesados y materia orgánica pueden ser absorbidos en la superficie de la membrana, y los compuestos solubles de la membrana.

### **Adición de Preservantes**

Ciertos constituyentes físicos o químicos se estabilizan por la adición de compuestos químicos, directamente a la muestra luego de recolectada, o adicionando al recipiente cuando aún está vacío. Los compuestos químicos de más uso son ácidos, soluciones básicas y reactivos.

Los preservantes a usar no deben interferir en la obtención de los resultados, antes de utilizar se debe realizar una prueba para determinar su compatibilidad con la muestra.

### **Identificación de las muestras**

Todos los recipientes a usar deben estar correctamente etiquetados de una manera clara y permanente; para evitar errores e inconvenientes.

En el momento de la toma de muestra es necesario tomar información, para una correcta interpretación de los resultados. La cual debe contener:

- Fecha
- Hora del muestreo.
- Nombre de la persona que muestreó
- Naturaleza
- Cantidad de preservantes adicionados
- El tipo de análisis

Se deberá tener en consideración las muestras con material anómalo, estas deben ser marcadas claramente.

### **Transporte de las muestras**

Los recipientes que contienen la muestra a analizar deben estar protegidos y sellados de manera que no se deteriore o se pierda durante su transporte

El empaque debe proteger los recipientes de la posible contaminación externa y de la rotura, especialmente de la cercana al cuello y no deben ser causa de contaminación (4).

Durante la transportación la muestra debe guardarse en un ambiente fresco y protegida de la luz, la muestra debe colocarse en recipientes individuales.

Si el tiempo de viaje excede al tiempo máximo de prevención recomendado antes del análisis, estas muestras se reportarán en el tiempo transcurrido entre el muestreo y el análisis.

### **Recepción de las muestras en el laboratorio**

Las muestras una vez llegadas al laboratorio, si su análisis no es posible inmediatamente; deben ser condiciones que eviten contaminación externa y que prevenga cambios en el contenido y la composición de la muestra. La muestra se debe colocar en lugares fríos y oscuros.

### **Procedimientos de los análisis de la muestra**

#### **Medición de pH.**

1. Asegurar de que la sonda del pH-metro a utilizar haya sido almacenada en la solución de almacenamiento o una solución de pH 4.
2. En el caso de no poseer, se coloca una solución de agua destilada por al menos de 24 horas.
3. Verificar que el medidor esté en modo pH, enjuagar la sonda del medidor de agua destilada.

4. Agitar antes de poner en una solución de pH 7 para calibrarlo.
5. Reposar la sonda durante 30 segundos, esperar que el medidor se estabilice y que de una lectura de pH 7.
6. Enjuagar la sonda.
7. Colocar una solución con pH4 y esperar a que se estabilice el pH-metro y marque dicho valor.
8. pH-metro calibrado
9. Enjuagar la sonda
10. Colocar la muestra a medir el pH.
11. Esperar a que dicha muestra se estabilice
12. Anotar el valor obtenido
13. Realizar un duplicado
14. Verificar el valor.
15. Limpiar la sonda.
16. Guardar la sonda con una solución de pH 4. una vez terminada la medición.

## **Análisis de Demanda Química de Oxígeno.**

### Método 8000 Digestión de Reactor.

1. Esterilizar los materiales a usar, como: pipeta, vaso de precipitación, probeta.
2. Acidificar la muestra a pH 2 con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, refrigerar entre 2°C y 5°C, guardar en la obscuridad la muestra durará 5 días.
3. Precalear el digestor HACH de DQO a 150° C. Destapar el vial que contiene los reactivos de digestión. Mantener el vial a un ángulo de 45°.
4. Pipetear cuidadosamente 2.0 mL de la muestra (previamente homogeneizada con un agitador magnético), dentro del vial. Cerrar el vial, para que no se escapen vapores, asegurarse que el tapón esté bien cerrado, suavemente invertir el vial varias veces, destapándolo después de cada inversión para liberar presión. Se debe tener precaución, debido a que el vial se calentará en este proceso, es necesario trabajar con guantes térmicos.
5. Preparar al menos dos testigos con agua desionizada por cada lote de muestras.
6. Colocar el vial en el reactor precalentado e inicie a contar el tiempo.
7. Colocar el protector del digestor. Anotar el lote de vial usado, así como la clave del equipo en el cual se hizo la digestión.

8. La digestión de las muestras debe ser por 2 horas. Después de las dos horas de digestión, en caliente, se debe proceder a retirar los viales e invertirlos varias veces, estos deben llegar a temperatura ambiente.
9. Desconectar el reactor aproximadamente 20 minutos hasta que los tubos se enfríen 120°C o menos.
10. Ingresar el número del programa almacenado del DQO en el espectrofotómetro
11. Ver la longitud de la onda y ajustarla a 620nm.
12. Colocar el adaptador de tubos de DQO en el soporte de las celdas.
13. Limpiar la parte exterior del blanco con una toalla, y verificar que dicha toalla no desprenda lana, debido a que esta puede interferir en la lectura.
14. Colocar el blanco en el adaptador y tapar
15. Presionar “zero” en el espectrofotómetro.
16. Retirar el blanco.
17. Limpiar la parte exterior del tubo de muestra con la toalla.
18. Ingresar el tubo de muestra colocar la tapa
19. Presionar el botón “read”
20. Finalmente nos dará el valor en mg/l
21. Repetir la lectura 3 veces y comparar con los valores y realizar una media estadística.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno Método 8043, Método de Dilución.**

1. Preparación de agua a diluir de la muestra utilizando una bolsa de solución tampón de nutriente de DBO
  - Colocar con la pipeta 1mL de cada una de las siguientes soluciones cloruro de calcio, cloruro férrico, sulfato de magnesio y tampón de fosfato por litro de agua destilada a 20°C.
  - Tapar la botella y agítela durante un minuto. La solución tampón de fosfato se debe refrigerar para disminuir la proporción de cultivo biológico.
2. Llenar una botella de DBO de 300mL con el agua de dilución este será el blanco.
3. Colocar 2ml de muestra, a cada triplicado, estas se colocan en botella de DBO de 300mL, y agitar.
4. Agregar 0,16g de inhibidor de nitrificación a cada botella.
5. Llenar cada botella exactamente hasta el pico con agua de dilución, dejar que esta caiga lentamente por los lados de la botella para evitar formación de burbujas.
6. Colocar la sonda para medir oxígeno disuelto (OD), medir el valor inicial cuando esté estabilizado.
7. Retirar la sonda.
8. Tapar la botella con una tapa de vidrio, cuidando de no atrapar ninguna burbuja de aire.

9. Apretar la tapa de la botella con el dedo; luego girar la botella varias veces para asegurar que estén mezcladas.
10. Agregar al pico de la botella de DBO agua de dilución suficiente para formar un sello de agua.
11. Colocar una tapa de plástico en el pico de cada botella y colocar las botellas en una incubadora a  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ .
12. Incubar durante 5 días.
13. Medir con una sonda el oxígeno disuelto (OD).
14. Calcular el DBO a partir del oxígeno disuelto (OD).
15. Ver los triplicados, realizar el mismo procedimiento y comparar con los valores y realizar una media estadística.

### **Nitrógeno Kjeldahl Total**

Método 8075, Método Nessler

1. Buscar en el programa almacenado el análisis de nitrógeno Kjeldahl en el espectrofotómetro.
2. Fijar la onda la cual es 460 nm.
3. Colocar el blanco, el cual contiene agua es desionizada.
4. Colocar con la pipeta 0,5 ml de la muestra y el blanco digerido en dos probetas para mezclar 25 ml separados.
5. Agregar una gota de indicador de TKN a cada cilindro. Agregar 8,0 N KOH a cada cilindro, mezclando luego de cada agregado.

6. Continuar hasta que sea visible el primer color clarante azul.
7. Agregar 1,0 N KOH de a gotas, mezclando luego de cada agregado, hasta que aparezca el primer color azul permanente.
8. Llenar ambos cilindros para mezclar hasta la marca de 20mL con agua desionizada.
9. Agregar 3 gotas de estabilizador mineral a cada cilindro.
10. Agitar para mezclar.
11. Agregar 3 gotas de agente dispersor de alcohol polivinílico a cada cilindro.
12. Agitar para lograr la mezcla.
13. Llenar ambos cilindros con agua desionizada hasta la marca de 25ml.
14. Colocar con la pipeta 1ml de reactivo Nessler a cada cilindro.
15. Tapar y agitar varias veces.
16. Vigilar que la solución no esté brumosa.
17. Dejar reposar la muestra durante un periodo de dos minutos.
18. Luego colocar el blanco en la celda para introducir al espectrofotómetro
19. Abrir el espectrofotómetro e introducir, luego cerrar
20. Presionar "cero", y esperar la puesta en cero.
21. Sacar el blanco
22. Introducir la muestra preparada en la celda, y limpiar con un pañuelo.
23. Presionar "read" y esperar su lectura pertinente.

24. Finalmente se utiliza la fórmula  $ppm\ TKN = \frac{75 \times A}{B \times C}$

***Ecuación 4: formula del valor del TKN***

25. para calcular el valor TKN final en mg/l donde A=mg/l el cual su valor aparece en la pantalla del espectrofotómetro; B= g o ml de agua de muestra tomada para digestión y C= 0, 5ml.

26. Repetir la lectura 3 veces y comparar con los valores y realizar una media estadística.

## **Sulfatos**

Método 805, Método SulfaVer 4

1. Buscar en el programa almacenado el análisis de Sulfato en el espectrofotómetro.
2. Fijar la onda la cual es 450 nm.
3. Filtrar la muestra.
4. Llenar una celda de muestra limpia con 25 ml de muestra.
5. Agregar los contenidos de una bolsa de polvo de reactivo de sulfato SulfaVer 4 en la celda de muestra.
6. Mezclar y agitar.
7. Esperar 5 minutos.
8. Colocar el blanco en la celda y luego ingresar en el espectrofotómetro.

9. Cerrar el espectrofotómetro y pulsar el botón “zero”, esperar a la puesta en cero y retirar.
10. Colocar la muestra y presionar “read”, esperar su lectura.
11. Anotar el valor.
12. Repetir la lectura 3 veces y comparar con los valores y realizar una media estadística.

### **Fosfatos**

1. Solución de Fosfato 20 ppm.
2. Realizar una curva de calibración, en el rango de 0,5 a 5,0 ppm.
3. Colocar en un matraz Erlenmeyer de 25 ml del blanco.
4. Adicionar 1 ml de solución de molibdato de amonio
5. Mezclar y agitar.
6. Agregar 2 gotas de cloruro estañoso.
7. Mezclar bien y agitar.
8. Observar si hay un cambio de coloración a azul, lo cual indica que está presente el fosfato.
9. Realizar mediciones de 5 a 15 min.

**Sólidos Sedimentables**

1. Homogenizar la muestra.
2. Coger 1 litro de la muestra homogenizada.
3. Colocar la muestra en el cono Imhoff hasta la marca de 1L
4. Dejar sedimentar la muestra durante 45 min
5. Luego remover suavemente las paredes, usando una varilla para facilitar la sedimentación de los sólidos adheridos.
6. Esperar 15 min.
7. Registrar el volumen del sólido sedimentable en el cono en ml/L
8. Realizar duplicados, y realizar los pasos antes mencionados.

**Sólidos Suspendidos Totales.**

1. Coger el filtro con una pinza.
2. Pesar en la balanza, previamente calibrada.
3. Coger 25 ml de muestra.
4. Pasar la muestra por el filtro pesado con la ayuda de una bomba.
5. Colocar el filtro con la ayuda de una pinza en la estufa de secado.
6. Dejar 1 hora el filtro en la estufa.
7. Sacar el filtro de la estufa con la ayuda de la pinza.
8. Colocar el filtro media hora en el desecador.
9. Pesar el filtro y anotar el valor.

10. Después restar el valor inicial y final de la masa de sólidos atrapados en el filtro, luego dividirlos para el volumen de muestra (25ml)
11. Obtendremos la cantidad de SST en mg/l.
12. Realizar duplicador y realizar el mismo procedimiento.

### **Resultados de los análisis de las muestras sin tratar**

Al momento de realizar los análisis de la muestra sin tratar surgieron una serie de problemas, en especial con los métodos que se emplea el color como método para determinar los parámetros deseados, por esta razón se tuvo que realizar una serie de diluciones para poder llevar a cabo dichos tratamientos.

A continuación se muestran los resultados de los análisis.

**TABLA 5: RESULTADO DE LOS ANALISIS DE LA MUESTRA SIN TRATAR**

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado del análisis</b>
<b>pH</b>	7.2
<b>DBO</b>	76580mg/l
<b>DQO</b>	80824mg/l
<b>Nitrógeno total kjeldahl</b>	16483mg/l
<b>Sulfatos</b>	24 mg/l
<b>Fosfatos</b>	7.75 mg/l
<b>Sólidos Sedimentables</b>	350 ml/l
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	2281 mg/l
<b>Materia Flotante</b>	Ausente

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

## Interpretación de Resultados

**TABLA 6: COMPARACION DE LOS RESULTADOS CON LOS LIMITES DE DESCARGA**

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado del análisis</b>	<b>Límite Permisible</b>	<b>Estado</b>
<b>pH</b>	7.2	5 – 9	Cumple
<b>DBO</b>	76580mg/l	250 mg/l	No cumple
<b>DQO</b>	80824mg/l	500 mg/l	No cumple
<b>Nitrógeno total kjeldahl</b>	16483mg/l	40mg/l	No cumple
<b>Sulfatos</b>	24 mg/l	400 mg/l	Cumple
<b>Fosfatos</b>	7.75 mg/l	15 mg/l	Cumple
<b>Sólidos Sedimentables</b>	350 ml/l	20 ml/l	No cumple
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	2281 mg/l	220 mg/l	No cumple
<b>Materia Flotante</b>	Ausente	Ausente	Cumple

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Los resultados de la muestra sin tratar dieron el pH 7.2, comparando con los límites permisibles del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria

(TULAS) el pH está dentro del rango por lo cual es aceptable. EL DBO dio 76580mg/l comparando este resultado con los límites permisibles se pudo observar que excede y está fuera del rango por lo cual es inaceptable. El DQO 80824 mg/l comparando con la tabla 6. Este parámetro está fuera de los límites permisibles por lo cual no es aceptable. Nitrógeno total kjeldahl dio 16483mg/l comparando con los límites permisibles está fuera del rango por lo cual es inaceptable. El parámetro de Sulfatos arrojó un resultado de 24 mg/l comparando este resultado con la tabla 6 que muestra los límites permisibles, se pudo observar que dicho parámetro está dentro del rango establecido por lo cual es aceptable, Fosfatos nos dio un resultado de 7.75 mg/l comparando con los límites permisibles este parámetro es aceptable por que está dentro del rango permisible, Sólidos Sedimentables nos dio el resultado de 350 ml/l al realizar el análisis y comparando con los límites permisibles que exige el TULAS este parámetro está fuera del rango por lo cual es inaceptable. Sólidos Suspendidos Totales nos dio un resultado de 22810 mg/l el cual está fuera del rango aceptable de acuerdo a la tabla 6. El parámetro materia flotante nos dio ausente y comparando con la tabla 6. Este parámetro es aceptable.

## Tratamiento de las muestras en laboratorio

### Oxidación O<sub>3</sub>/UV H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Se trató la muestra empleando una técnica de oxidación avanzada comprendida con O<sub>3</sub>/UV Peróxido (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).

Para el estudio de este proceso se decidió dividir el tratamiento en 2 fases:

- Fase de oxidación con peróxido de hidrogeno
- Fase de oxidación con ozono y radiación UV

La muestra cruda tenía la coloración como se observa en la figura 1



**Figura 1: Muestra cruda**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

### **Determinación de la cantidad de peróxido de hidrogeno necesaria para el tratamiento.**

Se procedió a determinar la cantidad de peróxido, para el efecto se agregó peróxido. esto causó una variación en el pH y la temperatura de la muestra así como el desprendimiento de gases, los cuales son CO<sub>2</sub> y vapor de H<sub>2</sub>O generados por la oxidación de la materia orgánica.

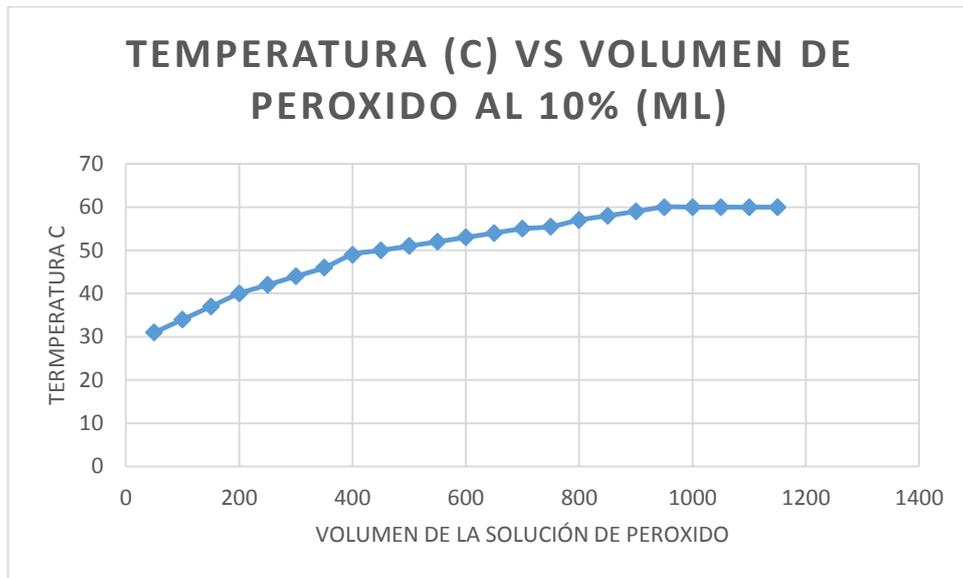
Al agregar peróxido se pudo notar la formación de espuma, dicha espuma se generaba rápidamente y su volumen superaba al volumen del líquido. Por este motivo se decidió agregar un antiespumante industrial. Una vez agregado el antiespumante la cantidad de espuma formada durante la oxidación se redujo notoriamente. Lo que permitió realizar los análisis posteriores sin mayores complicaciones.

Para la determinación de la cantidad de peróxido necesario para tratar la muestra, se agregó peróxido al 10% hasta que se logró estabilizar el pH y la temperatura, así como también la ausencia de burbujas, esto nos indica que el sistema se estabilizó y el peróxido no reaccionó más. Los datos de la experimentación se muestran en la siguiente tabla.

**TABLA 7: DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE PEROXIDO DE HIDROGENO REQUERIDO PARA EL TRATAMIENTO.**

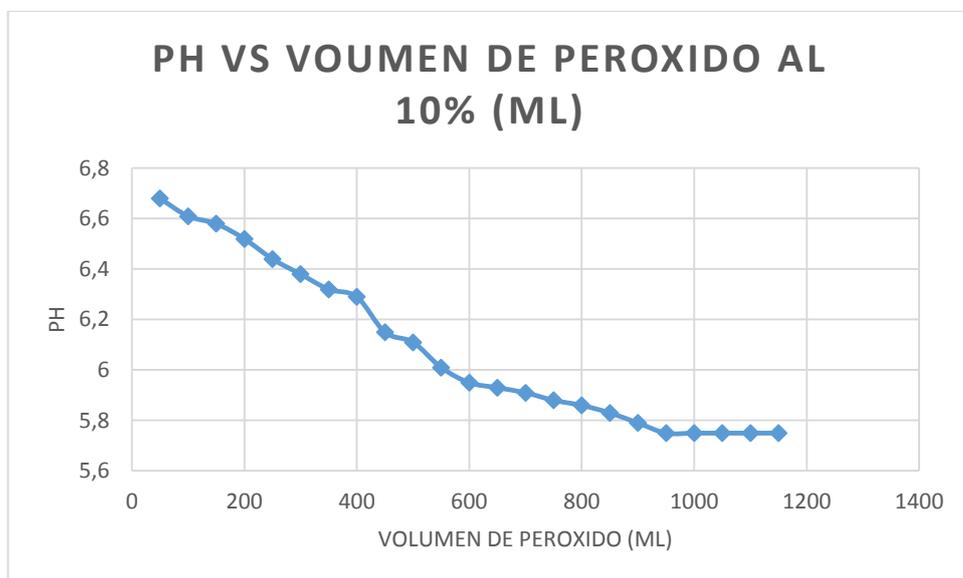
Volumen (ml)	Temperatura (C)	pH
50	31	6.68
100	34	6.61
150	37	6.58
200	40	6.52
250	42	6.44
300	44	6.38
350	46	6.32
400	49	6.29
450	50	6.15
500	51	6.11
550	52	6.01
600	53	5.95
650	54	5.93
700	55	5.91
750	55,5	5.88
800	57	5.86
850	58	5.83
900	59	5.79
950	60	5.75
1000	60	5.75
1050	60	5.75
1100	60	5.75
1150	60	5.75

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres



**Grafico 1: temperatura vs volumen de peróxido de hidrogeno**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres



**Grafico 2: pH vs peróxido de hidrogeno**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

### **Interpretación de los resultados obtenidos en la experimentación con el peróxido de hidrogeno**

En la tabla se puede observar que el sistema se estabilizo al llegar a un volumen de 1 litro de peróxido al 10%, es decir la razón de volumen de peróxido por volumen de muestra es de  $100 \frac{\text{ml de peroxido}}{\text{l de muestra}}$ .

En cuanto a las características físicas de la muestra se observó un cambio de coloración de un rojo oscuro color vino a un color café oscuro. Como se muestra en la siguiente fotografía.



***Figura 2: Muestra tratada con peróxido de hidrogeno***

**Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres**

Al finalizar la reacción del peróxido con el residuo líquido pudimos también notar un cambio en la cantidad de sólidos suspendidos totales. Estos valores se muestran en la siguiente tabla.

**TABLA 8: COMPARACION DE LOS SST DE LA MUESTRA CRUDA CON LA TRATADA CON PEROXIDO DE HIDROGENO**

<b>Muestra</b>	<b>Sólidos suspendidos totales (mg/l)</b>
<b>Cruda</b>	2281
<b>Tratada con peróxido de hidrógeno</b>	3900

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

El aumento de la cantidad de sólidos suspendidos totales aumento, esto se debe a que durante el proceso de oxidación ciertos componentes disueltos en la sangre sufrieron una transformación química, la cual los convirtió en compuestos no solubles en medio acuoso.

### **Determinación de tiempo de exposición a ozono y radiación UV**

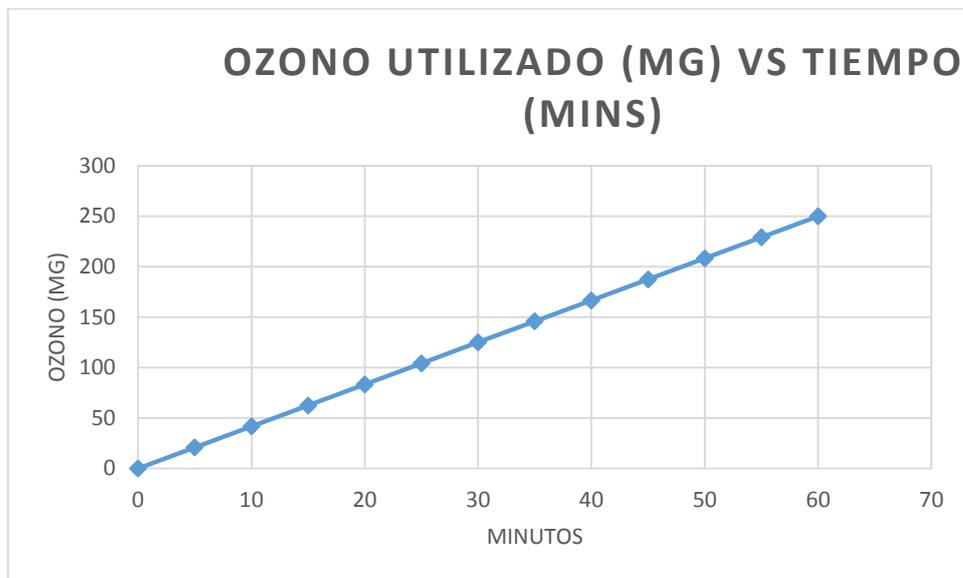
Se procedió a determinar la cantidad de ozono y tiempo al que debía estar expuesta la muestra a radiación UV. Para esto se usó un equipo de Ozono y una lámpara ultravioleta de 370nm del mismo modo que con el peróxido se produjeron variaciones en el pH y la temperatura de la muestra, estas fueron

monitoreadas hasta volverse estables, esto con la finalidad de determinar el tiempo de residencia óptimo de la muestra. En la tabla 9 se muestran los valores.

**TABLA 9: DETERMINACION DE TIEMPO DE EXPOSICION A RADIACION ULTRAVIOLETA Y DOSIFICACION DE OZONO**

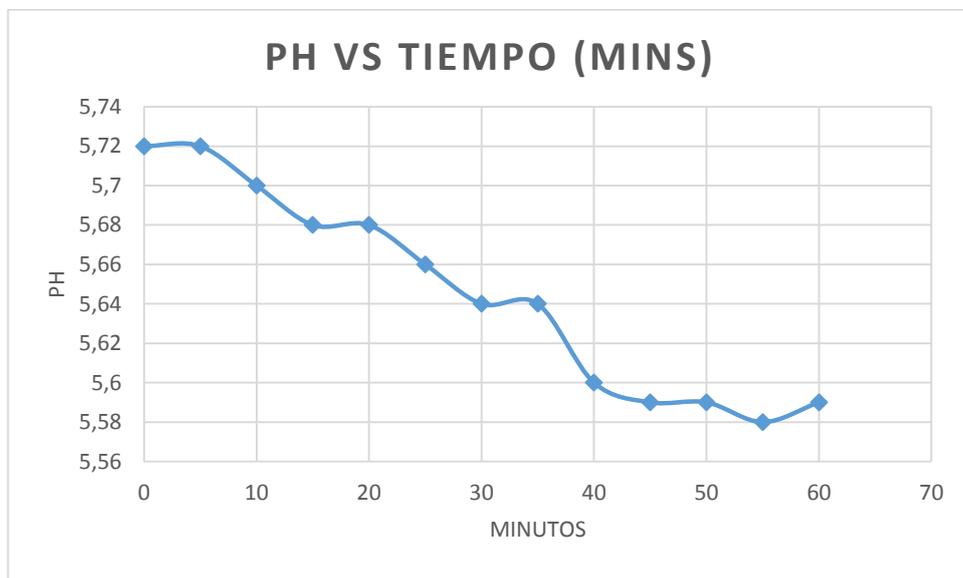
<b>Tiempo (mins)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (c)</b>	<b>Ozono utilizado (mg)</b>
0	5,72	40	0
5	5,72	57	20.83
10	5,70	52	41.66
15	5,68	51	62.50
20	5,68	50	83.33
25	5,66	49	104.16
30	5,64	48	125.16
35	5,64	48	145.83
40	5,60	48	166.66
45	5,59	47	187.50
50	5,59	46	208.33
55	5,58	45	229.16
60	5,59	45	250.00

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres



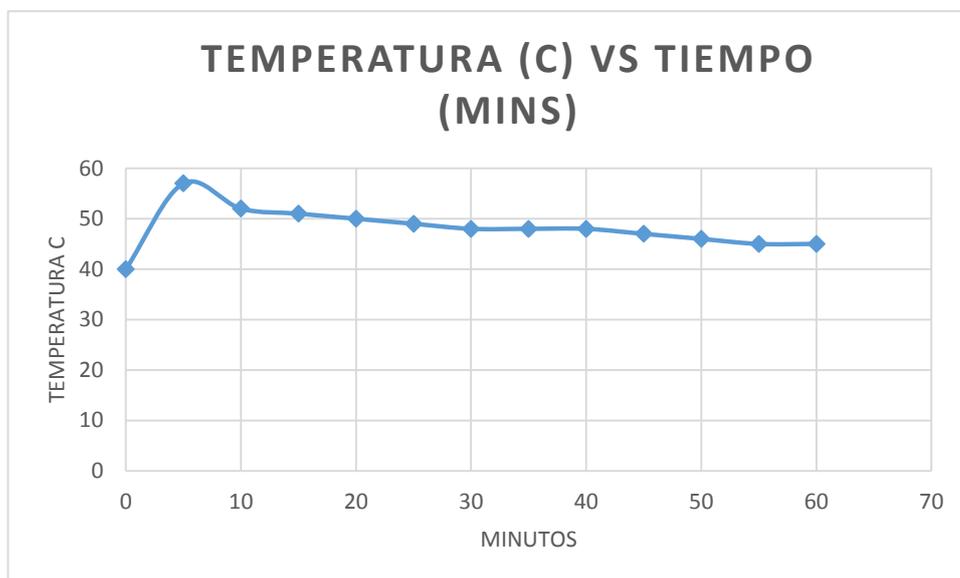
**Grafico 3: ozono vs tiempo**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres



**Grafico 4: pH vs tiempo de exposición a ozono y radiación UV**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres



**Grafico 5: temperatura vs tiempo de exposición a ozono y radiación UV**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

### **Interpretación de los resultados obtenidos en la experimentación con ozono y radiación UV**

Como se ve en la tabla anterior el sistema se estabilizo al llegar a un tiempo de 50 minutos, a partir de este tiempo el pH dejo de sufrir variaciones y la temperatura comenzó a descender, es decir no había reacción de oxidación, la cual libera calor causando el aumento de la temperatura en el sistema. También se pudo observar un cambio significativo en la coloración de la muestra, la cual pasó de un color café oscuro a un color mostaza claro como se muestra en la Fotografía N°3.



**Figura 3: Muestra expuesta a ozono y radiación UV**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Una vez realizado el tratamiento O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se pudo apreciar que habían muchas partículas de sólidos flotando dentro del recipiente. Esta materia es el resultado de la oxidación de la materia orgánica. Es por esto que se realizó un análisis de los sólidos suspendidos totales para determinar la repercusión del tratamiento en la muestra. Los resultados se muestran en la tabla 10

**TABLA 10: COMPARACION DE SST DE LAS MUESTRAS CRUDA, TRATADA CON PEROXIDO DE HIDROGENO Y CON RADIACION ULTRAVIOLETA JUNTO CON OZONO**

<b>muestra</b>	<b>Solidos suspendidos totales</b>
<b>Cruda</b>	2281 mg/l
<b>Tratada con peróxido de hidrogeno</b>	3916mg/l
<b>Tratada con O3/UV/H2O2</b>	3970 mg/l

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

La aplicación de ozono junto con la radiación UV aumento en pequeñas cantidades los sólidos suspendidos totales, esto se debe al efecto de oxidación generado por el ozono con la cantidad restante de materia orgánica que se podía oxidar, dando como resultado dióxido de carbono, vapor de agua y compuestos inorgánicos.

### **floculación-coagulación**

Se realizó un test de jarras, esta prueba sirve para determinar la dosis optima de coagulante para un residuo líquido. Así como también determinar las velocidades de sedimentación de lodos para el diseño de tanques de sedimentación y conocer el potencial del líquido crudo para las filtraciones posteriores.

Para la realización de este test se deben realizar las siguientes soluciones.

**TABLA 11: REACTIVOS EMPLEADOS EN EL TRATAMIENTO DE FLOCULACION-COAGULACION**

<b>Reactivo</b>	<b>Concentración de la solución</b>	<b>Equivalente 1ml/l de agua</b>
<b>Sulfato de aluminio</b>	10%	100mg/l
<b>Cal</b>	10%	100mg/l
<b>Polielectrolito</b>	5%	50mg/l

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

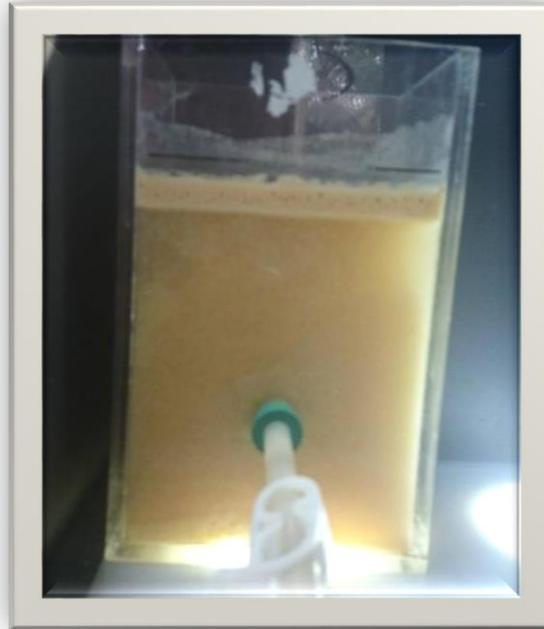
La prueba requiere de un agitador de laboratorio y vasos de 2 litros. El procedimiento es el siguiente:

1. Colocar los vasos de 2 litros con las muestras debajo de las paletas de agitación
2. Agregar diferentes cantidades de coagulante a cada vaso y anotar estos datos
3. Colocar las paletas de agitación dentro de los vasos, arrancar el agitador y colocarlo en una velocidad de 60 a 80 rpm durante 1 minuto
4. Reducir las revoluciones de la paleta a una agitación lenta aproximadamente 30 rpm durante 15 minutos

5. Cronometrar el tiempo en que se empiece a formar floculos
6. Realizar una evaluación visual de la resistencia del floculo ante la agitación
7. Una vez cumplidos los 15 minutos de agitación lenta, detener la agitación y anotar el tiempo que tarde el floculo en sedimentarse
8. Dejar reposar la muestra durante 20 minutos, tiempo en el cual se debe medir el volumen de lodos sedimentados cada cierto periodo de tiempo
9. Realizar una evaluación de color y turbiedad del sobrenadante (liquido por encima de los lodos)
10. Filtrar el sobrenadante y determinar el pH, turbiedad, solidos suspendidos totales y color

### **Tratamiento con cal y sulfato de aluminio**

Durante la dosificación del sulfato de aluminio y la cal se pudo notar una perturbación de los lodos en el recipiente, estos pasaron a expandirse y esparcirse por todo el recipiente. Como se observa en la siguiente fotografía.



**Figura 4: Muestra tratada con cal y sulfato de aluminio**

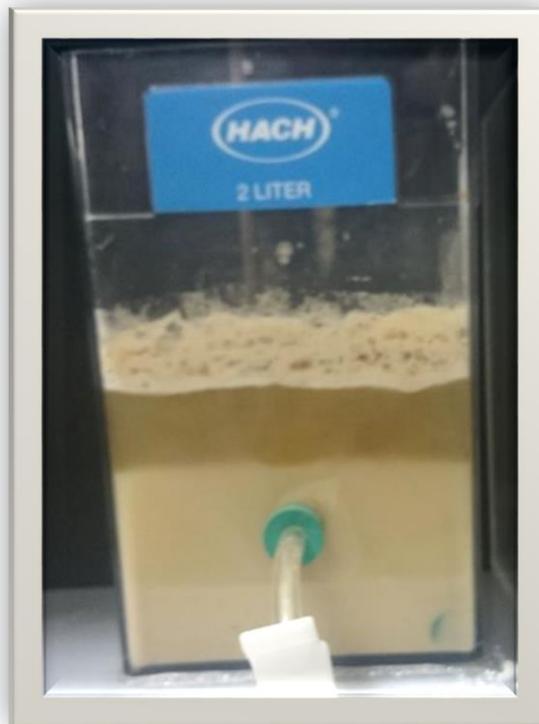
Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Debido a esta perturbación en la distribución de los lodos podemos darnos cuenta de que estos reactivos no dan buenos resultados en el tratamiento deseado.

#### **Tratamiento con cal y policloruro de aluminio**

En el caso del policloruro de aluminio, la reacción del sistema con este reactivo fue muy similar a la del sistema con el sulfato de aluminio, pero con la diferencia de que se formaron lodos sobrenadantes en grandes

cantidades, así como también en la parte inferior, llegando a superar por mucho el volumen de líquido tal como se puede observar en la siguiente foto

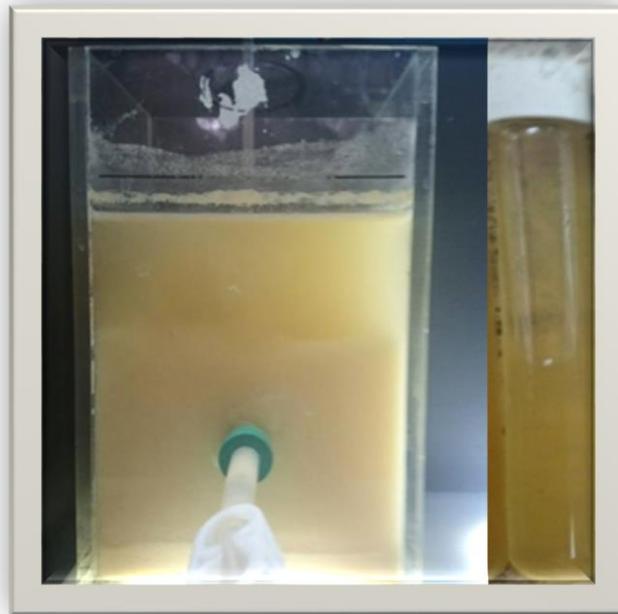


**Figura 5: Muestra tratada con cal y policloruro de aluminio**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

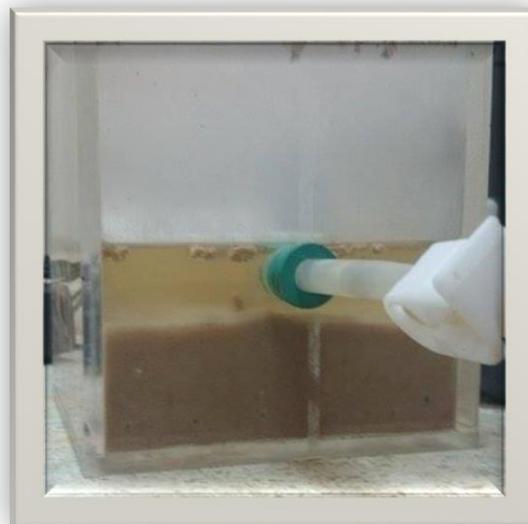
### **Tratamiento con cal y polielectrolito**

En el caso del polielectrolito los resultados fueron mejores, en la siguiente imagen se muestra la reacción del sistema a penas se le agregaron los reactivos.



**Figura 6: Muestra tratada con cal y polielectrolito**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres



**Figura 7: muestra sedimentada**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Posteriormente estos se sedimentaron más llegando a ocupar tan solo 4cm de altura del recipiente. Por ende la adición del polielectrolito es la más eficaz para realizar el tratamiento de este tipo de muestra.

Posteriormente se extrajo el líquido de los lodos el cual se muestra en la siguiente foto.



**Figura 8: Líquido extraído de la muestra tratada con cal y polielectrolito**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Además de la reducción de sólidos se puede notar un cambio de coloración en la muestra, esta se ha vuelto más clara y menos turbia que cuando se encontraba antes del tratamiento. Los resultados de sólidos suspendidos totales se muestran en la siguiente tabla.

**TABLA 12: COMPARACION DE SST DE LA MUESTRA TRATADA CON OXIDACION AVANZADA CON LA TRATADA CON CAL Y POLIELECTROLITO**

<b>muestra</b>	<b>Solidos suspendidos totales</b>
<b>Tratada con O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	3970 mg/l
<b>Tratamiento cal polielectrolito</b>	983 mg/l
<b>diferencia</b>	2987 mg/l

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

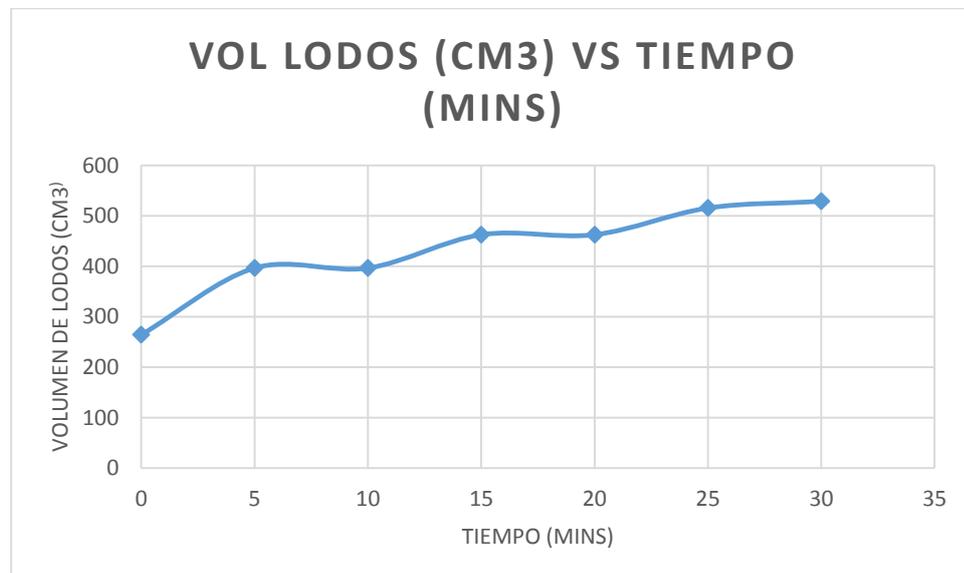
La remoción de los sólidos suspendidos totales fue de un 75.24% en comparación a la muestra que solo recibió el tratamiento de oxidación avanzada. Sin embargo este valor tampoco está dentro del rango permitido.

Otro dato importante para el diseño del reactor en el cual se llevara a cabo la floculación y coagulación es la generación de lodos. Esto se hizo midiendo el volumen de lodos que se precipitaban cada cierto tiempo hasta que el volumen de lodos en el recipiente se mantenga constante. En la siguiente tabla se muestran los datos de generación de lodos

**TABLA 13: TASA DE GENERACION DE LODOS**

T (min)	h (cm) lodos	Vol Lodos (cm <sup>3</sup> )	Vol lodos/vol muestra (l/l)
0	2	264,5	0.132
5	3	396,75	0.198
10	3	396,75	0.198
15	3,5	462,875	0.231
20	3,5	462,875	0.231
25	3,9	515,775	0.257
30	4	529	0.264

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres



**Grafico 6 Tasa de generación de lodos**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Estos lodos deben ser removidos, secados y ser gestionados como residuos sólidos peligrosos. Colocándolos en los recipientes respectivos con la señalización característica de este tipo de residuos.

### **Filtración e intercambio iónico**

Debido a la presencia de una cantidad de sólidos suspendidos totales presentes en la muestra tratada con floculación y coagulación, es necesario realizar una filtración para la remoción de los sólidos que no se precipitaron en aquella fase. Para el efecto se seleccionaron diferentes medios filtrantes. Estos medios filtrantes fueron: grava, arena, zeolita y carbón activado.

Para estudiar el efecto de los medios filtrantes sobre la muestra a tratar se experimentó variando los caudales de la muestra en el medio filtrante usando los valores de pH y conductividad para monitorear los cambios ocurridos en la muestra.

En la siguiente tabla se muestran los valores de caudal con sus respectivos valores de pH y conductividad usando grava como medio filtrante.

**TABLA 14: ANALISIS DEL EFECTO DEL CAUDAL EN EL PH Y CONDUCTIVIDAD DE LA MUESTRA EN EL FILTRO DE GRAVA**

Muestra	Caudal (ml/min)	pH	Conductividad (ms/cm)
Cruda	*	7.97	15.41
1	50	7.73	15.20
2	100	7.73	15.22
3	150	7.75	15.24
4	200	7.77	15.29

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Se puede notar que no existen cambios significativos en el pH y la conductividad, es decir este medio filtrante no influye en gran medida a las propiedades de la muestra, esto es independiente del tiempo de retención de la muestra. Sin embargo la cantidad de solidos suspendidos totales si presento un cambio, por lo que si es factible utilizar este medio filtrante.

**TABLA 15: COMPARACION DE LOS SST DE LA MUESTRA CON LA MUESTRA FILTRADA CON GRAVA**

<b>Muestra</b>	<b>Solidos suspendidos totales (mg/l)</b>
<b>Cruda</b>	900
<b>Filtrada con grava</b>	200
<b>Diferencia</b>	700

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Posteriormente se utilizó arena como medio filtrante, debido a que esta tiene partículas de menor diámetro en comparación con la grava se obtendrán mejores resultados. Las pruebas con la arena se realizaron aplicando la misma metodología que se usó con la grava.

**TABLA 16: ANALISIS DEL EFECTO DEL CAUDAL EN EL PH Y CONDUCTIVIDAD DE LA MUESTRA EN EL FILTRO DE ARENA**

muestra	Caudal ml/min	pH	Conductividad ms/cm
Cruda	*	7.74	14.55
1	50	7.40	12.67
2	100	7.47	13.42
3	150	7.56	14.34
4	200	7.73	14.55

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

**TABLA 17: COMPARACION DE LOS SST DE LA MUESTRA FILTRADA CON GRAVA CON LA MUESTRA FILTRADA CON ARENA**

Muestra	Solidos suspendidos totales (mg/l)
Filtrada con grava	200
Filtrada con arena	66.66
Diferencia	133.33

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

El siguiente medio filtrante que se empleo fue el carbón activado, este medio se lo uso con la finalidad de remover los compuestos orgánicos presentes en la muestra, principalmente la urea que es la mayor responsable de que la muestra aun tenga una demanda química de oxigeno elevada, aproximadamente de  $2500 \frac{mg}{l}$  de O<sub>2</sub>. Por este motivo se usaron tanto los valores de pH y conductividad para monitorear los cambios en la muestra, pero adicionalmente se realizó el monitoreo de la concentración de urea presente en la muestra. Los resultados se muestran en las siguientes tablas.

**TABLA 18: ANALISIS DEL EFECTO DEL CAUDAL EN EL PH Y CONDUCTIVIDAD DE LA MUESTRA EN EL FILTRO DE CARBON ACTIVADO**

muestra	Caudal ml/min	pH	Conductividad ms/cm
<b>Cruda</b>	*	7.42	11.03
<b>1</b>	50	7.31	8.54
<b>2</b>	100	7.32	8.65
<b>3</b>	150	7.36	8.70
<b>4</b>	200	7.41	8.77

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

**TABLA 19: ANALISIS DEL EFECTO DEL CARBON ACTIVADO EN LAS CONCENTRACIONES DE UREA, ACIDO URICO Y EN LA DQO DE LA MUESTRA**

<b>muestra</b>	<b>Urea mg/l</b>	<b>Ácido úrico mg/l</b>	<b>DQO mg/l</b>
<b>Cruda</b>	2919.4	2.2	2500
<b>Tratada con carbón activado</b>	1132.8	1.1	800

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

En esta etapa del tratamiento se puede apreciar un notable cambio en la DQO de la muestra, esto se debe a la presencia de la urea, la cual fue removida en grandes cantidades por el carbón activado, del mismo modo se pudo notar un cambio en la coloración de la muestra. La cual pasó de un color amarillo turbio a un amarillo pálido cristalino.

**TABLA 20: COMPARACION DE LOS SST DE LA MUESTRA FILTRADA CON ARENA CON LA MUESTRA FILTRADA CON CARBON ACTIVADO**

<b>Muestra</b>	<b>Solidos suspendidos totales (mg/l)</b>
<b>Filtrada con arena</b>	66.66
<b>Filtrada con carbón activado</b>	33.35
<b>Diferencia</b>	33.32

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

El filtro con carbón activado dio mejores resultados debido a sus propiedades adsorbentes, este removió en gran parte la cantidad de urea contenida en la muestra, reduciendo la demanda química de oxígeno a  $800 \frac{mg}{l} O_2$ , hasta este punto se ha logrado remover alrededor del 99% de la demanda química de oxígeno, sin embargo este valor no cumple con los límites de descarga, por lo que la muestra requiere un tratamiento adicional.

El siguiente tratamiento se lo realizo utilizando zeolita como medio filtrante, esto con la finalidad de remover los compuestos nitrogenados restantes. Los valores de pH, conductividad, demanda química de oxígeno y solidos suspendidos totales para monitorear la efectividad del tratamiento. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

**TABLA 21: ANALISIS DEL EFECTO DEL CAUDAL EN EL PH Y CONDUCTIVIDAD DE LA MUESTRA EN EL FILTRO DE ZEOLITA**

Muestra	Caudal ml/min	pH	Conductividad ms/cm
Pre-tratamiento	*	7.63	4.86
1	50	7.25	2.35
2	100	7.45	2.36
3	150	7.53	2.43
4	200	7.56	2.51

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

**TABLA 22: ANALISIS DEL EFECTO DE LA ZEOLITA EN LA CONCENTRACION DE UREA, ACIDO URICO Y DQO.**

Muestra	Urea mg/l	Ácido úrico mg/l	DQO mg/l
Pre-tratamiento	36	0.1	822
Post-tratamiento	22	No detectable	261

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

**TABLA 23: COMPARACION DE LOS SST DE LA MUESTRA FILTRADA CON CARBON ACTIVADO CON LA MUESTRA FILTRADA CON ZEOLITA**

<b>Muestra</b>	<b>Solidos suspendidos totales (mg/l)</b>
<b>Filtrada con carbón activado</b>	33.35
<b>Filtrada con zeolita</b>	27.57
<b>Diferencia</b>	5.78

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

En este caso la demanda química de oxígeno filtrada por zeolita, si llego a los límites permitidos de descarga.

#### **Resultados de la muestra tratada en laboratorio.**

Una vez realizado el tratamiento en laboratorio se pudo apreciar una notable reducción en la cantidad de solidos disueltos, este valor llego a estar dentro del rango permisible para la descarga. Del mismo modo se logró la reducción de los valores de la DQO y la DBO. En la siguiente tabla se muestra una comparación de los parámetros obtenidos de la muestra tratada en el laboratorio con los establecidos en el TULAS.

**TABLA 24: COMPARACION DE LOS PARAMETROS DE LA MUESTRA TRATADA CON LOS LIMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PUBLICO**

<b>Parámetro</b>	<b>resultado</b>	<b>Limite permisible</b>	<b>Estado</b>
<b>pH</b>	7.25	5-9	Cumple
<b>DBO</b>	184 mg/l	250 mg/l	Cumple
<b>DQO</b>	262 mg/l	500 mg/l	Cumple
<b>Nitrógeno total kjeldahl</b>	38 mg/l	40mg/l	Cumple
<b>Sulfatos</b>	270 mg/l	400 mg/l	Cumple
<b>Fosfatos</b>	0.04 mg/l	15 mg/l	Cumple
<b>Solidos sedimentables</b>	Ausencia	20 ml/l	Cumple
<b>Solidos suspendidos totales</b>	27.57 mg/l	220 mg/l	Cumple
<b>Materia flotante</b>	Ausencia	Ausente	Cumple

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Como se puede ver en la tabla, todos los parámetros de la muestra tratada están dentro del rango de descarga, es decir, el tratamiento empleado ha dado

los resultados esperados por ende la muestra está lista para su disposición final.

Por otro lado se realizaron análisis de laboratorio clínico a la muestra tratada, con la finalidad de detectar algún agente patógeno que pueda darle características infecciosas, sin embargo no se detectó la presencia de algún virus o bacteria, es decir la muestra no es peligrosa para el ser humano ni el ambiente.

**TABLA 25 ANÁLISIS REALIZADOS EN EL LABORATORIO CLÍNICO**

<b>Test</b>	<b>Resultado</b>
<b>VIH</b>	Negativo
<b>toxoplasma</b>	Negativo
<b>citomegalovirus</b>	Negativo
<b>herpes</b>	Negativo
<b>rubeola</b>	Negativo
<b>clamidia</b>	Negativo
<b>hepatitis</b>	Negativo
<b>Seroameba</b>	Negativo
<b>Tifoidea</b>	Negativo
<b>Viruela</b>	Negativo
<b>Fiebre hemorrágica</b>	Negativo
<b>polio</b>	Negativo

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

# **CAPÍTULO 4**

## **DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LIQUIDOS INFECCIOSOS**

### **Diseño del sistema de filtración primaria**

La muestra recolectada inicialmente está compuesta por 3 elementos principales, estos elementos son: la sangre, la orina y el plasma sanguíneo usado en el análisis de laboratorio clínico.

Tanto la sangre como la orina no tienen sólidos de gran tamaño en su composición, sin embargo la muestra de sangre tiene pequeños coágulos de sangre que se forman durante la preparación de la muestra para su análisis en el laboratorio, estos coágulos sanguíneos se deben gestionar junto con los residuos sólidos peligrosos.

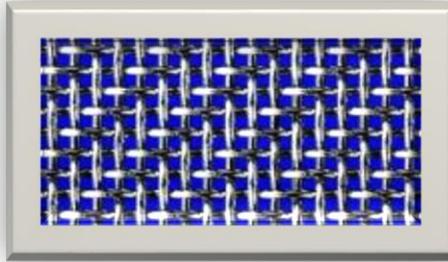
Estos coágulos de sangre se precipitan incluso antes del tratamiento, es por esto que deben ser removidos mediante filtración. Los coágulos de sangre se muestran en la siguiente imagen.



**Figura 9: Coágulos de sangre presentes en la muestra**

**Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres**

Durante la primera etapa de filtración se deja fluir el residuo líquido por una malla de aluminio de tipo cruzado, con una separación entre sus alambres de 2mm, esto con la finalidad de retener los coágulos de sangre y permitir el paso del residuo líquido infeccioso.



**Figura 10: Malla metálica de tipo cruzado**

Fuente: oriopanelnet.com

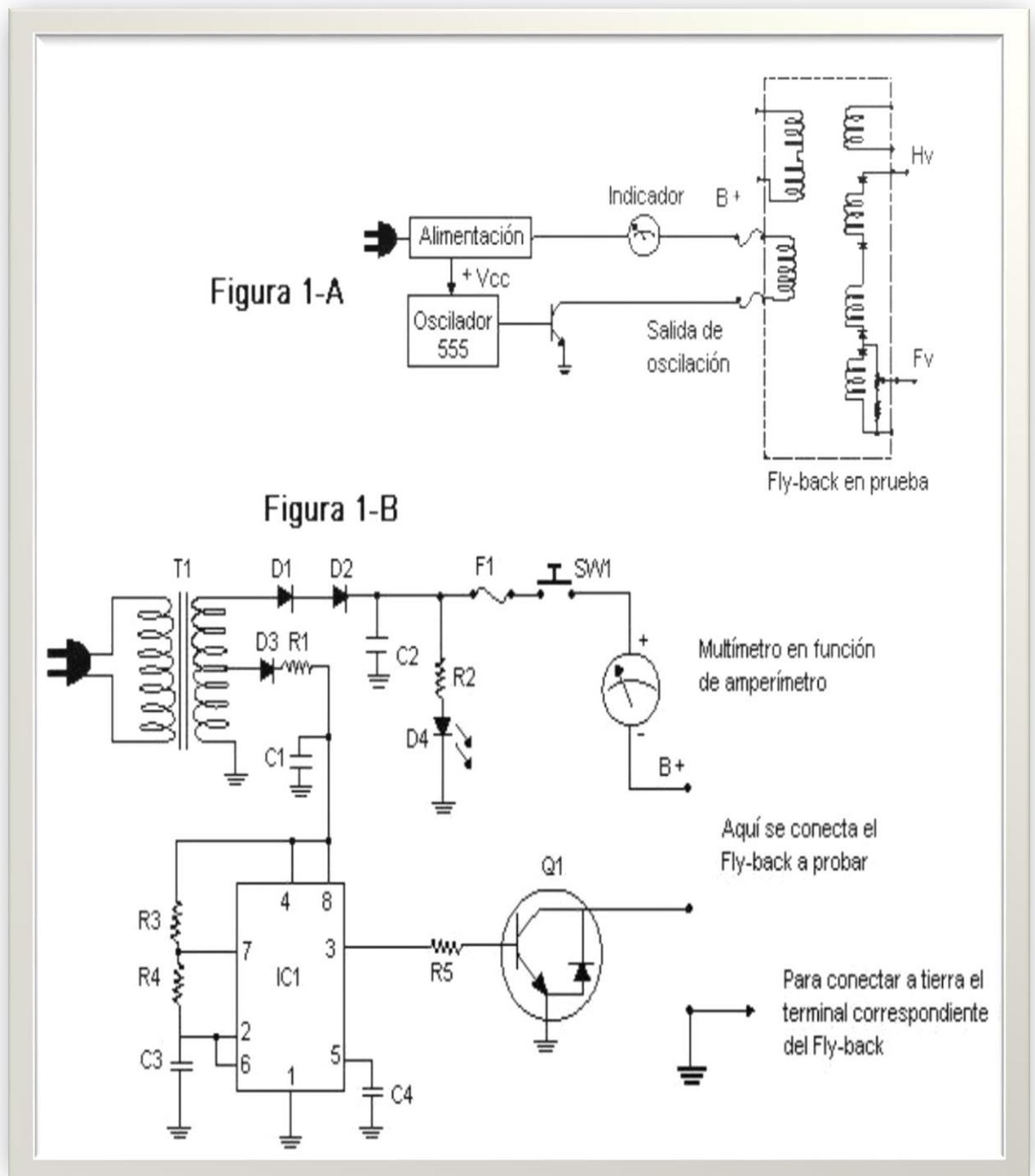
### **Diseño del equipo de oxidación avanzada O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

#### **Diseño del generador de Ozono**

El sistema de oxidación avanzada incluye un tratamiento con ozono, para lograr esto fue necesario construir dicho equipo. La construcción de este equipo se detalla en el capítulo 5.

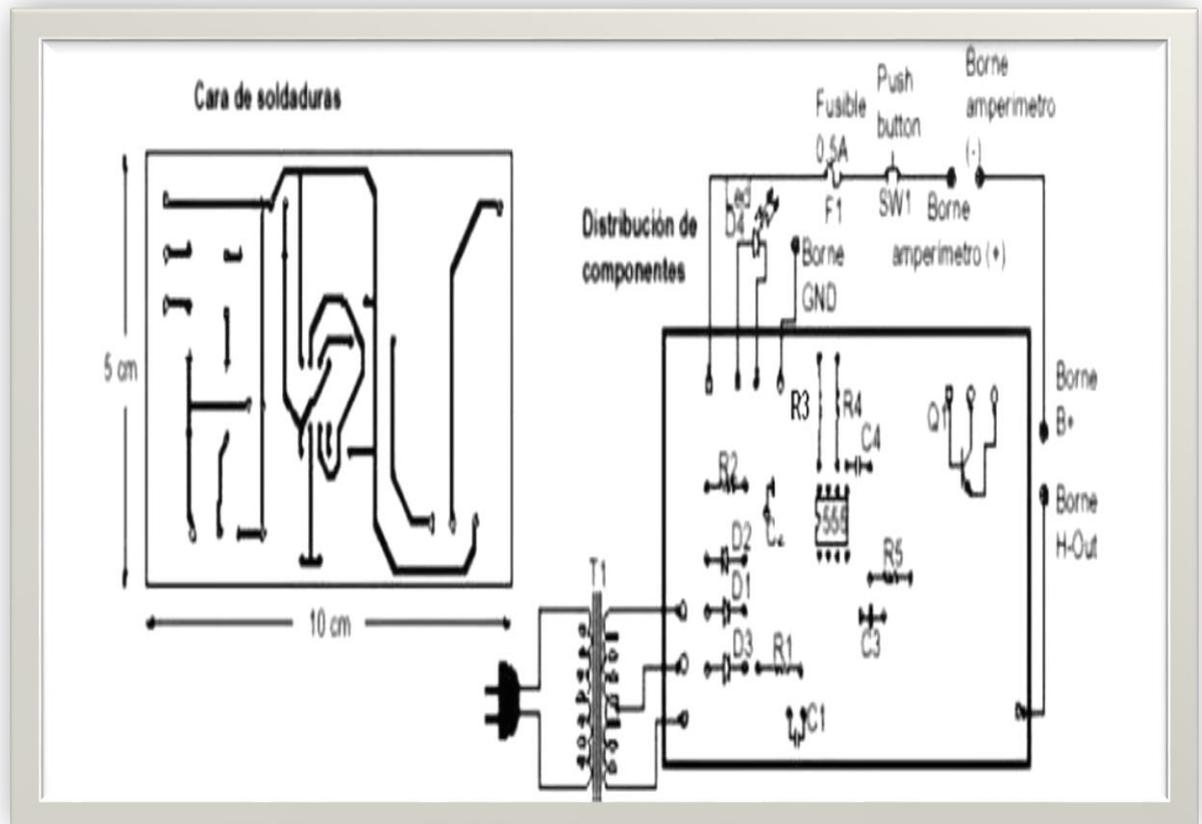
Para la generación de ozono se debe construir un circuito que tenga la capacidad de generar corriente de mínimo 20 000 voltios, la corriente eléctrica al contacto con el oxígeno del aire producirá ozono. Por este motivo se debió construir un circuito eléctrico el cual genere corriente de este voltaje.

El circuito usado para la construcción del sistema electrónico se encuentra a continuación.



**Figura 11: Circuito del generador de corriente de alto voltaje**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres



**Figura 12: Distribución de componentes del generador de alto voltaje**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

### Diseño del Sedimentador

Para el diseño del sedimentador se tomaron en cuenta ciertas consideraciones y limitaciones de parte del laboratorio clínico al cual se va a implementar este sistema de tratamiento de residuos líquidos infecciosos. Estas consideraciones son:

- Poco espacio dedicado para el sistema de tratamiento de líquidos infecciosos
- Realizar el tratamiento diario para evitar malos olores
- No utilizar reactivos peligrosos, motivo por el cual se usa peróxido al 10%, ya que al contacto con la piel causa irritación
- No se cuenta con espacio para almacenamiento del residuo líquido infeccioso
- Se requiere que sea de fácil operación y mantenimiento.

Debido a estas consideraciones se decidió que las operaciones del sistema se las realizara en modo Batch, esto con la finalidad de utilizar el sedimentador como recipiente de mezcla de los reactivos y luego como sedimentador. De este modo se reduce el espacio requerido para la implementación del sistema, tal como lo pide el laboratorio clínico al cual se le implementara el sistema de tratamiento de residuos líquidos infecciosos.

Una vez tomadas dichas consideraciones se procede a realizar el primer paso, el cual consiste en medir la cantidad de residuos líquidos infecciosos generados diariamente por el laboratorio clínico. Para esto se midió la generación de residuos líquidos infecciosos del laboratorio clínico por un periodo de 20 días laborables. Los datos recopilados se muestran en la siguiente tabla:

**TABLA 26: TASA DE GENERACION DE RESIDUOS LIQUIDOS INFECCIOSOS DEL LABORATORIO CLINICO**

<b>día</b>	<b>volumen de residuo generado (l)</b>
<b>1</b>	3,25
<b>2</b>	2,97
<b>3</b>	3,52
<b>4</b>	3,94
<b>5</b>	2,87
<b>6</b>	3,26
<b>7</b>	3,75
<b>8</b>	4,02
<b>9</b>	3,58
<b>10</b>	3,74
<b>11</b>	2,38
<b>12</b>	4,25
<b>13</b>	3,55
<b>14</b>	2,68
<b>15</b>	3,77
<b>16</b>	2,39
<b>17</b>	4,15

<b>día</b>	<b>volumen de residuo generado (l)</b>
<b>18</b>	3,76
<b>19</b>	3,58
<b>20</b>	2,95
<b>promedio</b>	3,56

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Tal como se puede observar en la tabla anterior en promedio se generan 3.56 litros de residuo líquido infeccioso, sin embargo por cuestiones de seguridad se tomara un galón para realizar los cálculos posteriores. Para el cálculo del volumen del sedimentador se debe tener en cuenta el volumen del residuo líquido infeccioso que se desea tratar y el volumen de peróxido de hidrogeno que se empleara para dicho tratamiento. Anteriormente se determinó que para el tratamiento se debe utilizar un volumen de peróxido al 30% de concentración equivalente a un 35% del volumen de la muestra que se desea tratar, es decir 0.35 galones de peróxido al 30%. Sin embargo en este tratamiento se empleara peróxido de hidrogeno al 10% en consideración a la petición de la gerencia del laboratorio clínico de no usar reactivos que causen algún efecto adverso a la salud. Es decir se deben emplear 1.05 galones de peróxido al 10% para realizar el tratamiento de un galón de residuo líquido de laboratorio clínico.

**TABLA 27: VOLUMEN DEL SEDIMENTADOR**

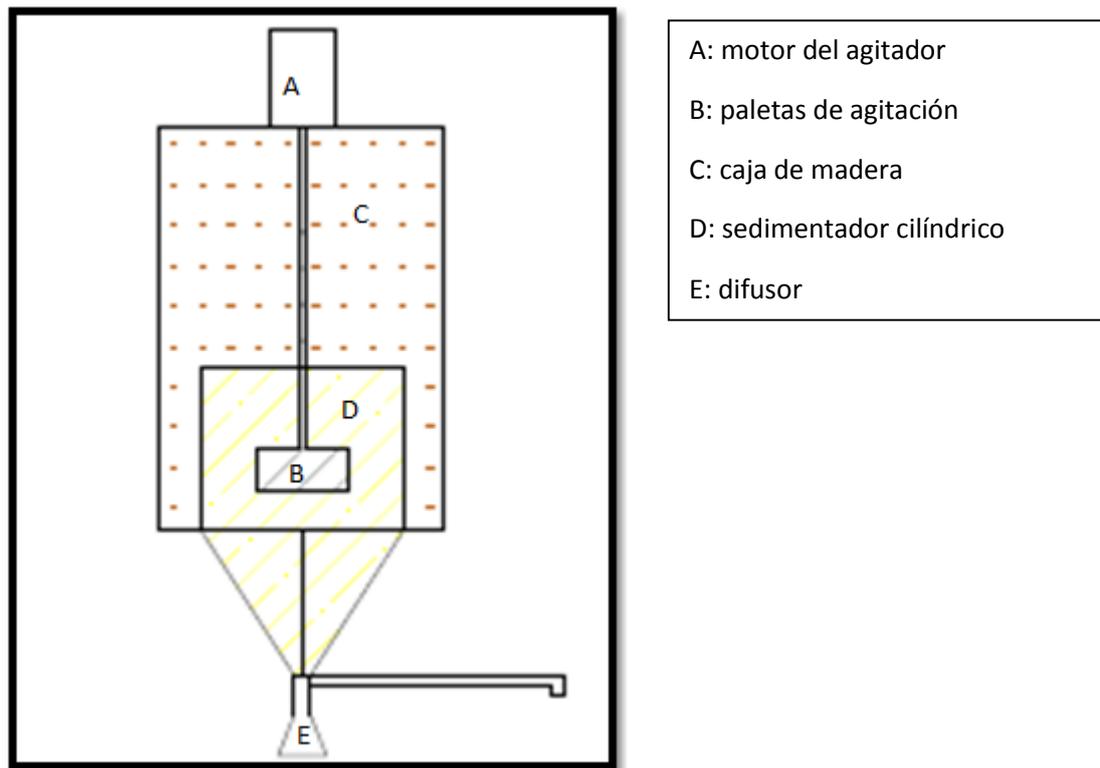
<b>Volumen del residuo líquido infeccioso diario</b>	<b>1 galón</b>
<b>Volumen del peróxido de hidrógeno al 10% requerido para el tratamiento</b>	1.05 galón
<b>Volumen total</b>	2.05 galones

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

El volumen que ocupara la mezcla de fluidos es de 2.05 galones, es decir aproximadamente 8 litros, con este valor se procederá a realizar el diseño del sedimentador.

Como se mencionó con anterioridad el sedimentador también cumplirá las funciones de un mezclador en el cual se le agregara el peróxido, cal, antiespumante, ozono y se lo irradiara con luz ultravioleta. Es por esto que el sedimentador se encontrara dentro de una caja de madera, esto con la finalidad de evitar que la luz ultravioleta cause daños a los empleados del laboratorio clínico.

En la siguiente imagen se muestra un modelo de como lucirá el sedimentador en conjunto a los demás elementos que formaran parte de la primera etapa de tratamiento.



- A: motor del agitador
- B: paletas de agitación
- C: caja de madera
- D: sedimentador cilíndrico
- E: difusor

**Figura 13: Sedimentador**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Las dimensiones de los elementos se muestran en las siguientes tablas.

**TABLA 28: DIMENSIONES DE LA PALETA DE AGITACION**

Paleta de agitación (B)	
Altura del eje	40 cm
Largo de la paleta	10 cm
Altura de la paleta	5 cm

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

**TABLA 29: DIMENSIONES DE LA CAJA DE MADERA**

<b>Caja de madera (C)</b>	
<b>Largo</b>	35 cm
<b>Alto</b>	50 cm
<b>Ancho</b>	35 cm

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Para describir el sedimentador, lo dividiremos en 2 partes; el cilindro de la parte superior y el cono truncado de la parte inferior.

**TABLA 30: DIMENSIONES DEL SEDIMENTADOR**

<b>Sedimentador (D)</b>	
<b>Altura del cilindro</b>	20 cm
<b>Diámetro del cilindro</b>	25 cm
<b>Diámetro mayor del cono</b>	25 cm
<b>Diámetro menor del cono</b>	2 cm
<b>Altura del cono</b>	18 cm

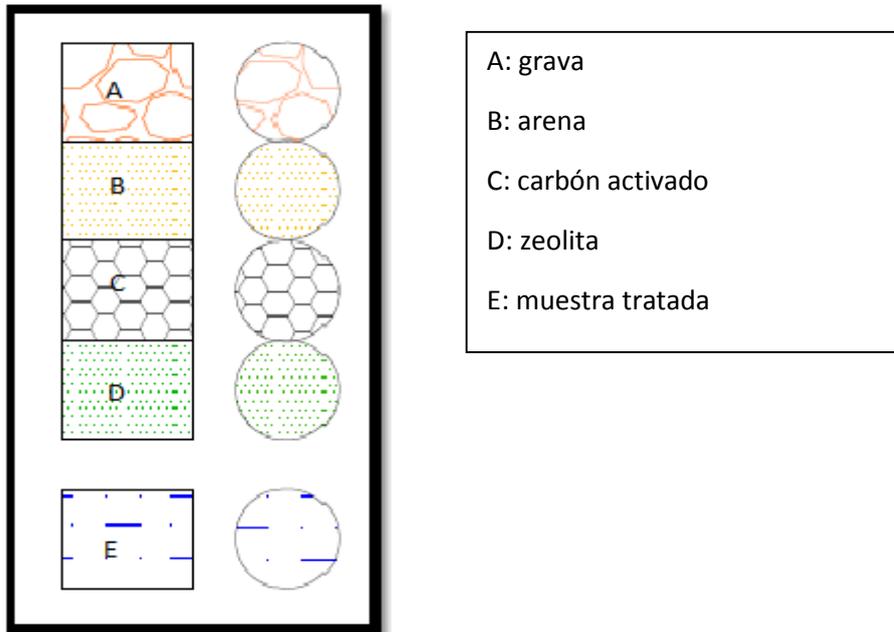
Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

**Diseño del sistema de filtración e intercambio iónico.**

En esta etapa se incluyen 4 lechos filtrantes, se utilizan partículas de mayor diámetro al inicio, disminuyendo su diámetro conforme avanzan las etapas, esto se lo realiza con la finalidad de remover los sólidos presentes que no se precipitaron en la etapa de sedimentación. Uno de estos lechos filtrantes es carbón activado, se decidió agregar este lecho filtrante para remover compuestos que se encuentran disueltos en el agua, tales como la Urea, ácido úrico y otros compuestos nitrogenados.

En las pruebas de laboratorio se usaron filtros con menor cantidad de lecho filtrante en el cual se determinó que el caudal que debe emplearse es de 50ml/minuto, sin embargo en el diseño del sistema al tener una mayor área y por ende mayor volumen de lecho filtrante es posible operar con un mayor caudal de líquido que se desea tratar y obtener resultados igual de eficaces. Este valor de caudal dio un valor de 180ml/minuto.

En la siguiente imagen se muestran los lechos filtrantes que serán empleados en esta etapa de tratamiento.



A: grava  
 B: arena  
 C: carbón activado  
 D: zeolita  
 E: muestra tratada

**Figura 14: Filtros**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

**TABLA 31: DIMENSIONES DE LOS FILTROS**

Filtros	
Altura	20 cm
Diámetro	15.24 cm

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Los filtros fueron hechos de tubos de PVC ensamblados entre sí por presión, para facilidad de desmontar el sistema cuando se deban lavar y/o reemplazar los lechos filtrantes cuando sea necesario.

### **Diseño del Sistema.**

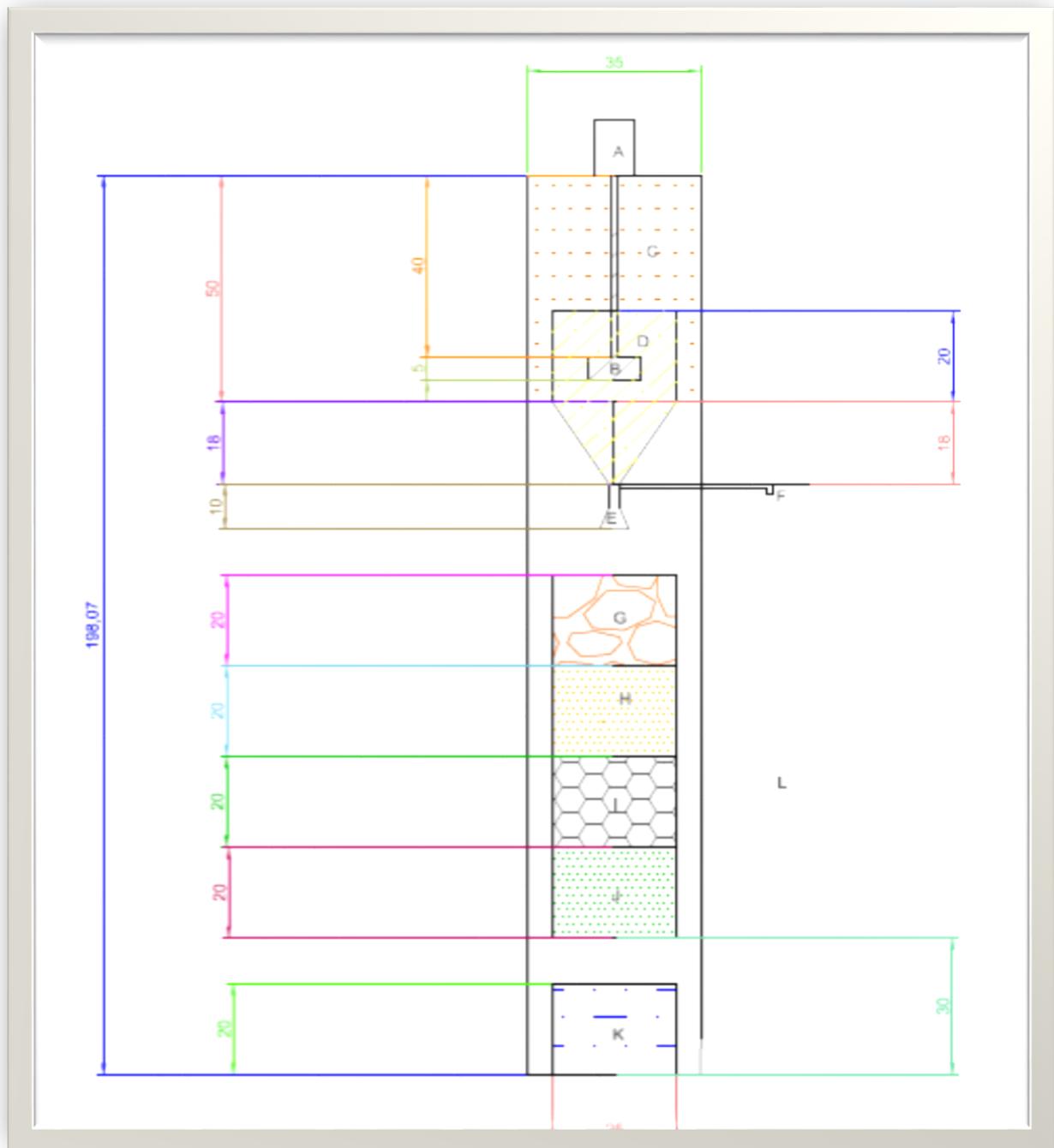
Con la finalidad de reducir el espacio que ocupara el sistema, por pedido del laboratorio clínico, el sistema se los implemento de forma vertical, los fluidos se desplazaran por gravedad en conjunto de una serie de válvulas y llaves. No se utilizaron bombas para reducir la complejidad de operación del sistema.

Para el ensamblaje del sistema se construyó un soporte el cual suspenderá la caja de madera que alberga el sedimentador y el agitador, este soporte también tendrá bases que suspenderán los filtros sobre un recipiente cuya función será recolectar el líquido ya tratado para su disposición final.

Se adicionaron 2 válvulas a la salida del sedimentador, una válvula tiene la función de evacuar los lodos formados; dichos lodos serán secados y dispuestos junto con los residuos sólidos infecciosos, mientras que la segunda válvula tiene la finalidad de conducir el líquido tratado en el sedimentador hacia los filtros, es por esto que dicha salida de la válvula cuenta con un difusor, para tener una dispersión del flujo de líquido y de este modo aprovechar todo el lecho filtrante.

El soporte tiene una altura de 1.50 metros, a la altura de 1 metro tiene el primer soporte que tiene la función de mantener suspendida la caja de madera, mientras que el segundo soporte se encuentra a una altura de 30 cm, que mantendrá en suspensión los filtros.

No se realizó ninguna conexión de la salida de los filtros a algún sistema de disposición de aguas servidas por motivos de localización del espacio destinado para este equipo, el cual es reducido y confinado.



**Figura 15: Sistema de tratamiento de residuos líquidos infecciosos**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

# **CAPÍTULO 5**

## **CONSTRUCCION Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA**

### Construcción del generador de ozono

El sistema de generación de ozono se lo construyó en base al circuito descrito en el capítulo anterior. Los materiales usados en la construcción del equipo se muestran en la siguiente tabla.

**TABLA 32: COMPONENTES USADOS EN LA CONSTRUCCION DEL GENERADOR DE CORRIENTE DE ALTO VOLTAJE**

Componente	Cantidad	Descripción
T1	1	Transformador 124/24 volteos 500 mA con derivación
Q1	1	Transistor de 1555 con disipador de calor
R1	1	Resistor de 15 ohmios a 0.5 watt
R2	1	Resistor de 8.2 K a 0.5 watt
D1/D3	3	Diodo rectificador IN4007
D4	1	Diodo led

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
<b>C1</b>	1	Capacitor 1000 Mfd a 10 volteos
<b>C2</b>	1	Capacitor 1000 Mfd a 35 volteos
<b>IC1</b>	1	Circuito integrado LM 555
<b>R3</b>	1	Resistor de 10K a 0.5 watt
<b>R4</b>	1	Resistor de 8.2K a 0.5 watt
<b>C3</b>	1	Capacitor cerámico de 0.01 Mfd
<b>C4</b>	1	Capacitor cerámico de 0.001
<b>R5</b>	1	Resistor de 100 ohmios a 0.5 watt
<b>Sw1</b>	1	Interruptor tipo push button

Componente	Cantidad	Descripción
*	1	Cable de línea con clavija

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Los principales componentes de este circuito son: el transformador, el flyback y los disipadores de calor. El transformador permite llevar el voltaje del tomacorriente de 110v a 12 voltios, que es el voltaje con el cual el flyback trabaja. Sin embargo este sistema tiende a calentarse, es por esto que se le agregaron los disipadores de calor, para prevenir un aumento de temperatura y que este cambio de temperatura llegue a causar perjuicios al sistema electrónico. Finalmente el último componente de mayor importancia es el flyback. Este componente es el que se encarga de generar una corriente de 25 000 voltios, dicha corriente se encuentra dentro del rango en el cual se forma el O3.



**Figura 16: Flyback**

**Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres**



**Figura 17: Flyback con corriente electrica**

**Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres**

En la imagen se muestra al flyback generando una corriente de alto voltaje.

Una vez construido el sistema que proporcionara la descarga eléctrica con el voltaje suficiente para la generación de ozono se debe construir el sistema físico más propicio que ofrezca las condiciones óptimas para la producción de ozono. Se sabe que existen muchas variables que afectan la tasa de producción de ozono como por ejemplo: el caudal de aire, la temperatura del aire, humedad, materiales del equipo, área de descarga, concentración de O<sub>2</sub> en el aire, etc.

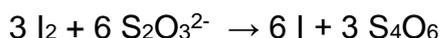
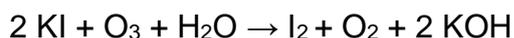
Los parámetros que fueron optimizados debido a su mayor impacto en la tasa de generación de ozono fueron el caudal de aire y el área de descarga.

Para tener un buen caudal de aire se colocó el compresor cuya capacidad es de 98 l/min cerca del área en el cual se encuentra la descarga eléctrica.

### **Determinación de la tasa de generación de ozono**

La tasa de generación de ozono del equipo construido se la realizó por el método yodometrico. Este método consiste en usar una solución de yoduro de potasio (IK), la cual recibirá una alimentación de ozono causando la formación de yodo molecular (I<sub>2</sub>), esto se puede apreciar por el color amarillo que toma la solución al cabo de cierto tiempo. Se usará tiosulfato de sodio como titulante; al agregar una solución de tiosulfato de sodio, esta reaccionará con el yodo presente en la muestra y por ende el viraje de color será de amarillo a incoloro. Se debe tomar una muestra de la solución de yoduro de potasio y titular cada

cierto periodo de tiempo, repetir este paso hasta que la cantidad de titulante necesario para el viraje se estabilice. La cantidad de ozono se puede determinar usando las siguientes reacciones.



***Ecuación 5: reacción del ozono con el titulante***

En la siguiente tabla se muestran las concentraciones de las soluciones empleadas en la determinación de la tasa de generación de ozono.

**TABLA 33: REACTIVOS UTILIZADOS EN LA TASA DE GENERACION DE OZONO DEL EQUIPO CONSTRUIDO**

reactivo	Concentración
<b>Yoduro de potasio (Ac)</b>	0.06 M
<b>Tiosulfato de sodio</b>	0.05 M

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Posteriormente se procedió a realizar la titulación para el efecto se utilizaron 20ml de la solución de yoduro de potasio.

Los datos recopilados para la titulación fueron los siguientes:

**TABLA 34: VOLUMEN DE TIOSULFATO DE SODIO USADO EN LA TITULACION**

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Volumen de solución tiosulfato de sodio utilizado (ml)</b>
<b>10</b>	3.8
<b>20</b>	10.3
<b>30</b>	17.4
<b>40</b>	21.3
<b>50</b>	25.2
<b>60</b>	25.4
<b>70</b>	25.5
<b>80</b>	25.5

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

El sistema se estabilizo a los 25.5ml, el siguiente paso es usar las reacciones para estimar la cantidad de ozono producido. A partir de las reacciones se tiene la siguiente ecuación.

$$QO_3 \left[ \frac{mg}{h} \right] = \frac{Vt \times Ti \times 48 \times Vm}{2 \times T \times vm}$$

**Ecuación 6: cantidad de ozono producido**

Donde:

Vt: volumen del titulante (solución de tiosulfato de sodio) en ml

Ti: concentración molar de la solución de tiosulfato de sodio

vm: volumen de la solución de yoduro de potasio titulada

Vm: volumen de la solución de yoduro de potasio bombeada con ozono

T: tiempo en horas

En el caso del generador de ozono construido en este trabajo la cantidad de ozono producida fue de  $250 \frac{mg}{h}$ . Este valor es el promedio de todas las pruebas realizadas. Esto se debe a que factores como la humedad y temperatura influyen en la tasa de generación de ozono.

### **Construcción del sedimentador.**

Para la construcción del sedimentador este se dividió en 2 secciones. La sección cilíndrica y la sección cónica. A pesar de ser partes del mismo elemento del sistema, estos están hechos de materiales distintos ya que

una sección estará expuesta a la radiación ultravioleta y la otra no. Primero se describe la sección cilíndrica del sedimentador.

El sedimentador como se sabe tendrá varias funciones, entre una de ellas esta funcionar como mezclador de los reactivos y exposición de la muestra a la radiación ultravioleta. Es por esto que el material con el cual se construirá la sección cilíndrica debe tener las siguientes características.

- Ser rígido
- Ser impermeable
- Permitir el paso de la radiación UV
- Ser resistente a la radiación UV
- Resistente a los agentes atmosféricos
- Resistente a los golpes
- Ser transparente
- Resistencia química a los reactivos empleados en el tratamiento

Debido a estas características se decidió construir la sección cilíndrica del sedimentador (la cual será expuesta a radiación UV), con Polimetacrilato de metilo, conocido comercialmente con el nombre de vidrio acrílico o plexiglass, este plástico es rígido y es fácilmente moldeable, permite el paso de entre el 85% y el 92% de la radiación ultravioleta, siendo esta radiación inofensiva para

el material. Teniendo un tiempo de vida de 10 años expuesto a esta radiación proveniente del sol.

El único inconveniente que presenta este material es su elevado costo, sin embargo para este trabajo se empleara solo una pequeña cantidad de él, por lo que su costo no será muy elevado, convirtiéndolo en el material más adecuado para la elaboración del sedimentador.

Las dimensiones de la sección cilíndrica del sedimentador son:

- Diámetro: 25 cm
- Altura 20 cm

La sección cónica por otro lado debe tener características similares a la del material anterior, salvo una, que es la transparencia. Ya que esta sección del sedimentador se encontrara fuera de la caja que evita la salida de luz ultravioleta este material no debe ser transparente por cuestiones de estética, ni permitir el paso de radiación ultravioleta. Por este motivo se seleccionó un embudo de PVC comercial.

Las dimensiones de la sección cónica son:

- Diámetro mayor: 25 cm
- Diámetro menor: 20 cm
- Altura: 18 cm

Ambas secciones fueron unidas entre sí empleando una goma impermeable y una sección del embudo fue perforada y atornillada a la caja de madera para que esta tenga una mayor estabilidad al momento de que se realice la agitación.

### **Construcción de los filtros**

El sistema de filtración es más simple que el del sedimentador, ya que este no estará expuesto a reactivos, ni al calor, ni a una agitación. Los únicos requerimientos que debe tener el material que se selecciona para la construcción de este sistema es que el material sea ligero, de fácil desmontaje y ser impermeable. Por esto se decidió seleccionar como material un tubo de PVC. Cuyas dimensiones son:

- Diámetro: 15.24 cm
- Altura: 35 cm

### **Análisis de la muestra tratada con el equipo**

Una vez construido el equipo se procedió a realizar una evaluación del rendimiento del equipo. Para esto se llevó a cabo el tratamiento de los residuos líquidos de laboratorio clínico de 5 días laborables, a estos residuos se les realizó los respectivos análisis de laboratorio. Dando como resultado valores satisfactorios, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

**TABLA 35: PARAMETROS DE LA MUESTRA TRATADA CON EL EQUIPO CONSTRUIDO**

<b>Parámetro</b>	<b>resultado</b>	<b>Limite permisible</b>	<b>Estado</b>
<b>pH</b>	7.08	5-9	Cumple
<b>DBO</b>	197 mg/l	250 mg/l	Cumple
<b>DQO</b>	248 mg/l	500 mg/l	Cumple
<b>Nitrógeno total kjeldahl</b>	29 mg/l	40mg/l	Cumple
<b>Sulfatos</b>	310 mg/l	400 mg/l	Cumple
<b>Fosfatos</b>	0.14 mg/l	15 mg/l	Cumple
<b>Solidos sedimentables</b>	Ausencia	20 ml/l	Cumple

<b>Parámetro</b>	<b>resultado</b>	<b>Limite permisible</b>	<b>Estado</b>
<b>Solidos suspendidos totales</b>	33.25 mg/l	220 mg/l	Cumple
<b>Materia flotante</b>	Ausencia	Ausente	Cumple

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

### Costos de construcción del equipo

**TABLA 36 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO**

<b>Ítem</b>	<b>cantidad</b>	<b>precio unitario</b>	<b>total</b>
<b>flyback</b>	1	10	10
<b>tripler</b>	1	5	5
<b>componentes del generador de ozono</b>	1	6	6
<b>compresor</b>	1	20	20
<b>alambre de aluminio</b>	1	2	2
<b>caja de madera</b>	1	20	20
<b>embudo</b>	1	3,25	3,25
<b>acrílico</b>	1	37	37

Ítem	cantidad	precio unitario	total
tubería de PVC	1	15	15
taponos macho	3	5	15
uniones	3	6	18
filtro de acero	5	6	30
varios	1	15	15
<b>total</b>			<b>196,25</b>

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

### Costos de operación del equipo

**Tabla 37 COSTOS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO**

ítem	consumo	Precio diario (Dólares)	Costo mensual (Dólares)
cal	10 gramos diarios	0.001	0.03
Polielectrolito	10 ml diarios	0.025	0.75
Peróxido de hidrogeno 30%	0.35 galones diarios	0.91	27.3
antiespumante	15 ml diarios	0.23	6.9
Generador de ozono	200 W diarios	0.03	0.9

ítem	consumo	Precio diario (Dólares)	Costo mensual (Dólares)
Lámpara ultravioleta	40 W	0.01	0.3
agitador	288 W diarios	0.04	1.2
<b>total</b>		1.246	37.38

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

**Comparación de costos de operación con la mensualidad de una empresa encargada en la gestión de residuos de laboratorio clínico**

**Tabla 38 COMPARACIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN CON MENSUALIDAD DE EMPRESA DE GESTION DE RESIDUOS INFECCIOSOS**

Método de gestión	Costo mensual
Empresa dedicada a la gestión de residuos infecciosos	124
Costo de operación del sistema	37.38
Reducción del costo	86.62

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

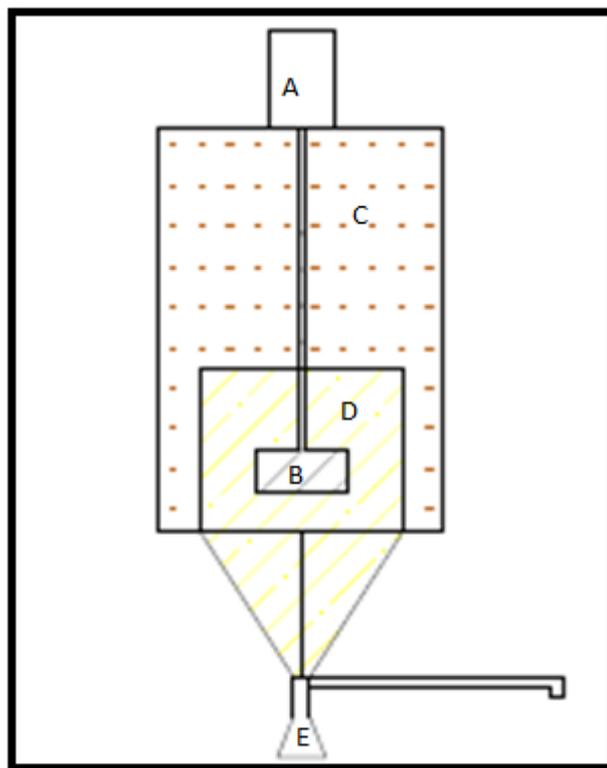
Como se puede apreciar en la tabla anterior, el costo de operación del equipo es mucho menor a la mensualidad de una empresa de gestión de este tipo de residuos, con esto se puede afirmar que la implementación de este sistema es económicamente viable.

**CAPÍTULO 6**

**MANUAL DE OPERACIÓN DEL  
SISTEMA**

### Llenado del reactor

De debe colocar la muestra en el sedimentador (D), esta muestra debe pasar antes por el filtro hecho con la malla metálica, esto con la finalidad de remover solidos grandes como coágulos de sangre y otros desperdicios que se mezclaron con la muestra. Antes de agregar el reactivo se debe asegurar que las válvulas en la parte inferior del sedimentador se encuentren cerradas.



**Figura 18: Llenado del reactor**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

### **Preparación de los reactivos**

**Solución de cal:** la solución de cal se la prepara agregando 10 gramos por cada 100ml de agua y agitar rápidamente.

**Solución de polielectrolito:** de deben agregar 10ml de polielectrolito en 100ml de agua y agitar rápidamente.

**Peróxido de hidrogeno al 10%:** se debe realizar un pequeño cálculo para la preparación de este reactivo tal como se muestra en la siguiente ecuación.

$$volumen (l) = \frac{concentracion\ del\ peroxido(\%) * Vol\ requerido (l)}{10\%}$$

#### ***Ecuación 7 preparación de peróxido de hidrogeno al 10%***

El volumen requerido se refiere al volumen de peróxido de hidrogeno necesario para preparar la solución al 10% del peróxido de hidrogeno, mientras que la concentración de peróxido es la concentración con la cual la vende el fabricante. Dato que debe ser proporcionado por el mismo.

Mientras que el volumen que se calcula es el volumen al cual se debe aforar el volumen requerido de peróxido de hidrogeno utilizando agua. Esto se lo hace con la finalidad de diluir el peróxido de hidrogeno, para cuando esta entre en contacto con la muestra, la reacción no sea tan violenta.

El volumen requerido de peróxido de hidrogeno para la preparación del peróxido de hidrogeno al 10% se lo calcula de la siguiente manera.

$$Vol\ requerido\ (l) = \frac{105\ (ml) * conc\ peroxido(\%) * volumen\ de\ la\ muestra}{100000}$$

***Ecuación 8: volumen de peróxido de hidrogeno requerido***

### **Adición del peróxido de hidrogeno**

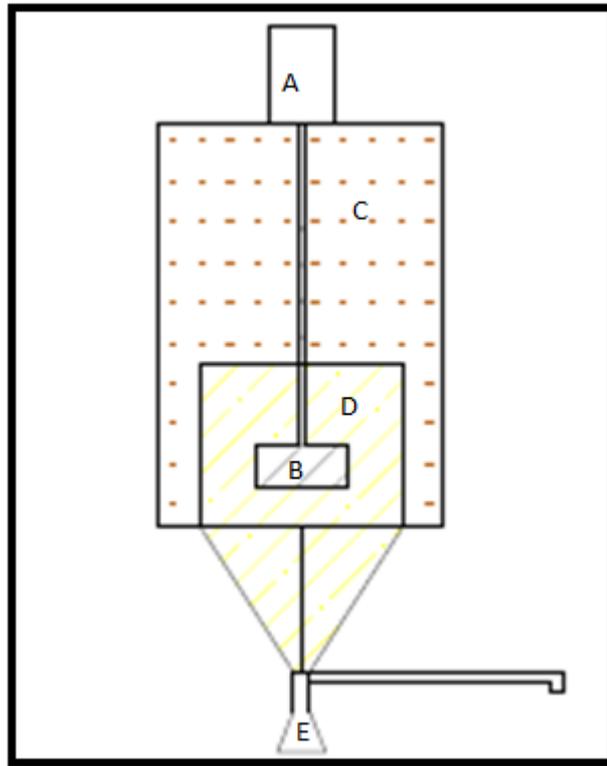
Una vez colocada la muestra se debe agregar 15ml del anti-espumante, es sumamente importante que se agregue el anti-espumante ya que si este reactivo no se agrega, al momento de la oxidación se generara una gran cantidad de espuma.

Luego de colocar el antiespumante se debe dosificar el peróxido de hidrogeno al 10%, se debe agregar un equivalente en volumen de la muestra que se desea tratar. Si se desea tratar la muestra con peróxido de hidrogeno al 30% se debe agregar un equivalente al 35% del volumen de la muestra que se desea tratar. Es importante que la dosificación del peróxido de hidrogeno se la realice lentamente con un caudal no mayor a 50ml por minuto ya que una rápida adición de este reactivo causara un aumento violento en la temperatura, desprendimiento de gases y la formación de espuma de manera violenta que podría superar la capacidad del sedimentador y causar un derrame.

### Encendido del equipo de oxidación avanzada

Luego de adicionar el peróxido de hidrogeno junto con el anti-espumante se debe proceder a encender el generador de ozono y la lámpara ultravioleta para completar el proceso de oxidación y desinfección de la muestra.

Para realizar esta tarea se debe primero cerrar la caja de madera (C), esto se lo hace para proteger los ojos de la radiación ultravioleta, ya que esta podría causar daños a la salud del operador de este equipo.



**Figura 19: encendido del equipo de oxidación avanzada**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Paso siguiente se debe conectar la lámpara ultravioleta junto con el generador de corriente de alto voltaje y el compresor quien es el encargado de bombear el ozono a la muestra. Debe dejarse en este estado durante 1 hora.

Una vez transcurrida la hora desconectar la lámpara ultravioleta, el generador corriente de alto voltaje y el compresor.

### **Adición del floculante y el coagulante**

El siguiente paso consiste en agregar los reactivos que formaran los floculos, la cal y el polielectrolito.

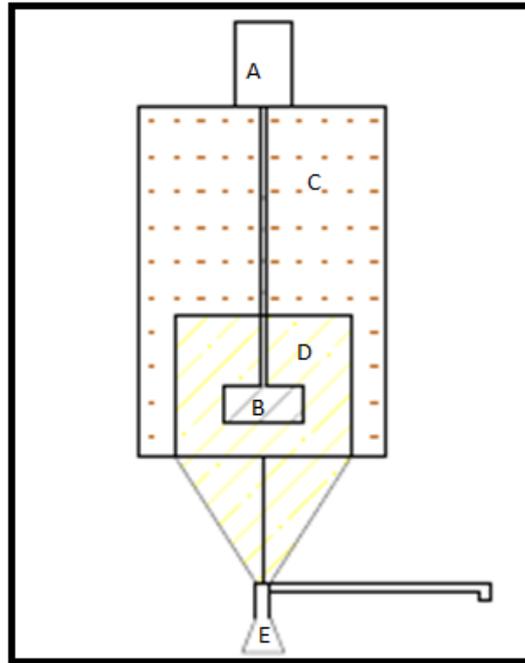
Se deben adicionar 100ml de cada solución de cal y de polielectrolito preparada por cada litro de muestra que se desea tratar. En caso de no preparar las soluciones se puede agregar 10 gramos de cal por cada litro de muestra y 10 ml de polielectrolito por cada litro de muestra.

Una vez agregadas la cal y el polielectrolito se debe realizar una agitación.

Esta agitación es llevada a cabo por el motor (A) y las paletas de agitación (B).

La muestra se debe agitar durante 5 minutos y luego apagar el agitador.

La muestra debe reposar por un periodo de 30 minutos.



**Figura 20: adición del floculante y coagulante**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

### Remoción de los lodos

Una vez transcurridos los 30 minutos se debe abrir la válvula al inferior del sedimentador. Sin embargo se debe abrir únicamente la llave de la purga de lodos, es decir la llave que se encuentra a la derecha del difusor (E).

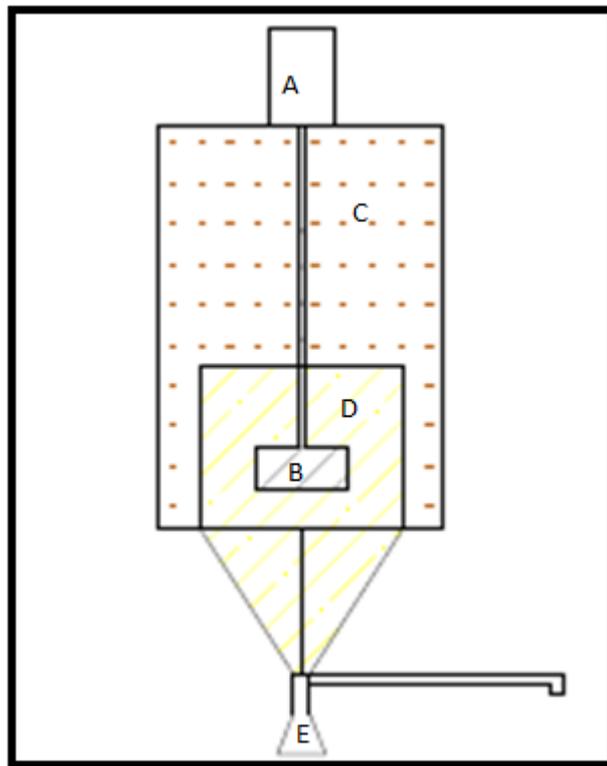
Debe mantenerse abierta dicha válvula hasta que se pueda observar que el líquido que se purga sale limpio libre de lodos. Luego se procede a cerrar la válvula de la purga de lodos.

Los lodos recolectados deben ser secados en la estufa y descartarlos junto con los desechos sólidos peligrosos (jeringas, agujas, etc.)

### Filtración de la muestra

Una vez removidos los lodos se procede a abrir la válvula que lleva al difusor (E). Esta válvula debe mantenerse abierta hasta el final del tratamiento.

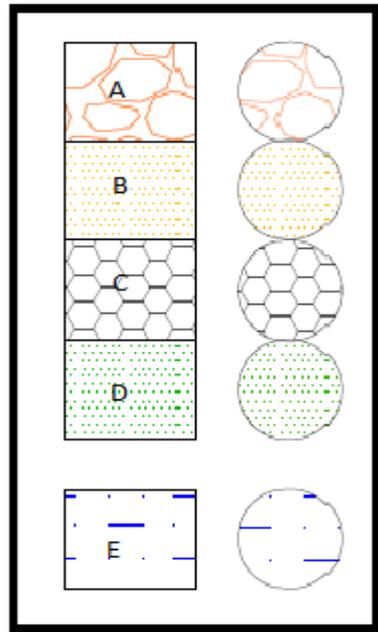
El difusor se encargara de difundir el flujo de agua sobre el filtro el cual será aprovechado en su máxima capacidad.



**Figura 21: filtración de la muestra**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Debe dejarse fluir el líquido el cual será recolectado en el recipiente inferior (E). Las válvulas se deben mantener abiertas hasta que en el último filtro (D) haya dejado de gotear totalmente.



***Figura 22: filtración de la muestra***

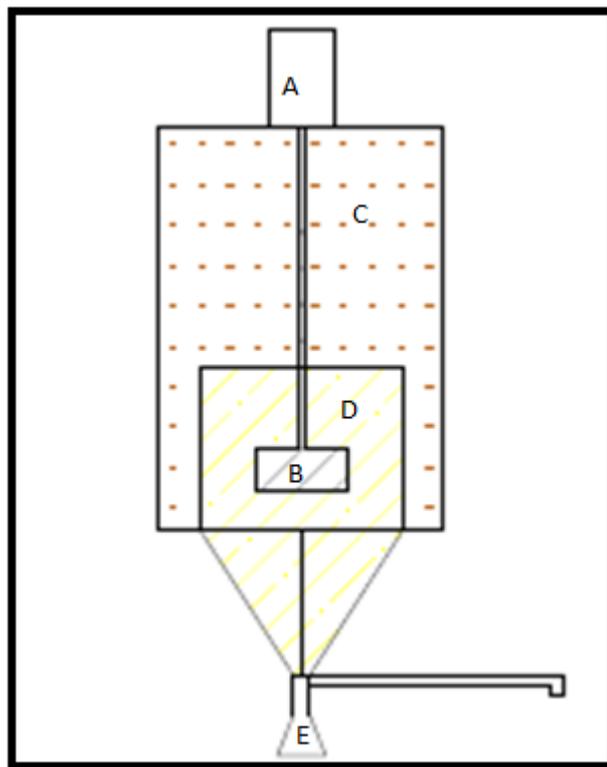
Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

### **Disposición Final de la muestra**

Una vez recolectada la muestra filtrada, esta debe ser descartada inmediatamente al sistema de alcantarillado público.

### Limpieza del equipo

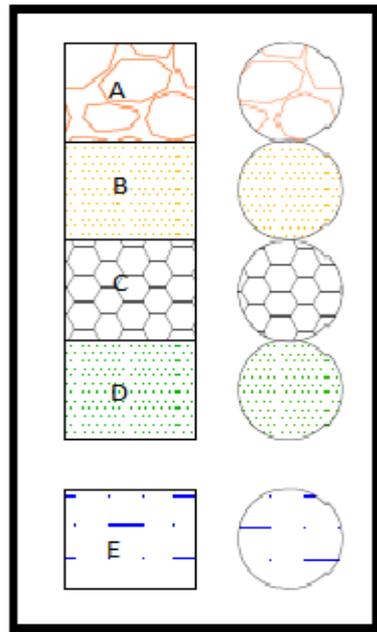
Una vez a la semana o cuando sea requerido se debe limpiar el equipo. Para esto se deben cerrar las válvulas y agregar agua en el sedimentador (D), encender el agitador por un lapso de 10 minutos luego abrir la válvula y purgar el agua. Por la tubería de purga de lodos.



**Figura 23: limpieza del equipo**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Mientras que los filtros deben ser separados por partes y lavarlos periódicamente para evitar la saturación de los mismos.



**Figura 24: limpieza del equipo**

Fuente: Luis Antonio Morocho, Gabriela Torres

Mientras que el filtro de carbón activado debe ser reactivado o reemplazado una vez que haya cumplido su vida útil. La reactivación del carbón activado se la lleva a cabo colocando el carbón en la estufa a una alta temperatura para que los compuestos retenidos en el carbón sean removidos térmicamente.

# **CAPÍTULO 7**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **Conclusiones**

Al finalizar la instalación del equipo, este funcionó sin generar problemas.

El agua residual formada después del tratamiento cumple todos los parámetros descritos en el TULAS, es decir puede ser vertida al sistema de alcantarillado público sin infringir las leyes medio ambientales.

Por otro lado se realizaron diferentes análisis de infectología a la muestra para determinar la presencia de algún agente infeccioso en la muestra. Los resultados fueron muy favorables ya que no se detectó la presencia de ningún virus o bacterias que tengan la capacidad de transmitir enfermedades.

El diseño del sistema no es el óptimo debido a su poca capacidad, esto se lo hizo por pedido de la gerencia del laboratorio clínico al cual se le implementa este sistema. Entre sus peticiones estaba que el tratamiento debía ser realizado a diario para poder descartar la muestra lo antes posible.

Del mismo modo se decidió utilizar peróxido de hidrogeno al 10%, también por consideración a la petición del laboratorio clínico de no usar reactivos peligrosos, debido a que el peróxido de hidrogeno a mayores concentraciones causan irritación en la piel se decidió trabajar con una concentración más baja.

Cabe recalcar que el diseño se hizo en base a las peticiones hechas por el laboratorio clínico, sin embargo un sistema con la capacidad de tratar la muestra generada por el lapso de una semana y el uso de peróxido a

concentraciones más altas, por ejemplo al 30%, darán resultados más eficaces los cuales reducirían los costos de operación del equipo.

A pesar de las modificaciones poco viables el sistema funciona perfectamente y su costo de operación sigue siendo más bajo que la contratación de una empresa dedicada a la gestión de estos residuos. Es decir la implementación de este equipo es económicamente viable para los laboratorios clínicos.

### **Recomendaciones**

Durante la elaboración de este trabajo surgieron ciertos problemas, de los cuales se aprendió mucho mientras estos se resolvían. Los cuales se mencionaran a continuación con su respectiva solución.

- Debe usarse mandil, guantes y mascarilla durante el manejo y estudio de la muestra en el laboratorio ya que tiene características infecciosas, se recomienda exponer la muestra a radiación ultravioleta antes de manejarla para desinfectarla y no correr riesgo de contagio en caso de un accidente.
- Al realizar los análisis de la muestra cruda los valores que estos arrojan sobrepasan por mucho los límites de los métodos de análisis. Es por eso que se debe realizar una dilución de 1 en 1000 para que estos resultados puedan ser medidos.
- Asegurarse de agregar el antiespumante antes de exponer la muestra al peróxido de hidrogeno ya que la reacción es muy violenta y se genera

gran cantidad de espuma, también se debe agregar el peróxido lentamente para evitar esta reacción violenta.

- Al momento de realizar los análisis de DQO se debe tener en cuenta que la muestra tiene presencia de cloruros, estos afectan mucho en el resultado del análisis ya que interfieren en el método.
- Al almacenar la muestra mantenerla refrigerada y si es posible mantenerla aislada de la luz y el oxígeno, ya que la urea se descompone en otros compuestos nitrogenados.
- Al realizar los análisis de SST antes de pasar la muestra por los filtros se debe realizar una dilución de la muestra ya que la cantidad de sólidos es muy alta y el filtro puede taparse.
- Desinfectar todos los implementos de laboratorio cuando hayan estado en contacto con la muestra
- Realizar el diseño del equipo con una mayor capacidad para reducir costos de operación
- Utilizar peróxido de hidrogeno con una mayor concentración al momento de realizar el tratamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **López, Juan Klever Pilay.** Estudio De Impacto Ambiental Producido Por El Empleo De Productos Químicos En El Proceso de Sanitización. *Univerdad Laica Eloy Alfaro De Manabí.* [En línea] 7 de 2013. [www.repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/26000/512/.../T-ULEAM-09-0007.pdf](http://www.repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/26000/512/.../T-ULEAM-09-0007.pdf).
2. **Salamaca, Universidad De.** Manual De Gestión De Residuos Peligros. [En línea] [http://campus.usal.es/~retribucionesysalud/ssalud/calid\\_amb/manual.htm](http://campus.usal.es/~retribucionesysalud/ssalud/calid_amb/manual.htm).
3. **Umweltberatung, Schelker.** Manejo de Desechos Líquidos Hospitalarios. Swisscontact - Bolivia [trad.] Cordy Thony. *Manejo de Desechos Líquidos Hospitalarios.* La Paz, Bolivia : s.n., 2006.
4. **Instituto Nacional del Cáncer.** El Trasplante De Médula Ósea Y El Trasplante De Células Madre De Sangre Periférica. [En línea] 12 de 08 de 2013. <http://www.cancer.gov/espanol/recursos/hojas-informativas/tratamiento/medula-osea-trasplante>.
5. **Laboratorio Normon.** *Manual Normon.* Madrid : s.n., 1990. M-13203-1999.
6. **Laura Delgado Campos, Martha Rojas Jiménez, María Paz Carmona Robles.** Análisis De Una Muestra de Orina Por el Laboratio. *Libros Laboratorio.* [En línea] 2011. [http://libroslaboratorio.files.wordpress.com/2011/09/analisis\\_orina\\_en\\_lab.pdf](http://libroslaboratorio.files.wordpress.com/2011/09/analisis_orina_en_lab.pdf).
7. **Dr Delamano, Alexis Mejías.** Farmacocinética I. [En línea] 04 de 2011. <http://es.slideshare.net/elalemede/farmacocinetica-i-ao-2011-7621030>.
8. **Ing. Tomás Bruzos.** Anatomía De La Sangre Humana. [En línea] <http://www.sabelotodo.org/anatomia/sangre.html>.
9. **Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad.** Enfermedades Infecciosas De Riesgo Potencial Para El Viajero. [En línea] <http://www.mssi.gob.es/profesionales/saludPublica/sanidadExterior/docs/CAPITULO-5.pdf>.
10. **INEN.** Norma INEN 2169:98. 1998.
11. **TULAS.** Norma de Calidad Ambiental Y Descarga de Efluentes: Recurso Agua. *Libro VI Anexo 1.*
12. Coagulación - Flocculación. [En línea] [http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis\\_procesos/tema5.pdf](http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema5.pdf).

13. **Castillo, Andrés Julián Mora.** Diseño De Una Planta De Tratamiento De Aguas Residuales Descargadas Al Río Coca Procedentes De Un Establo De Ganado Vacuno Aplicado En La Finca Los Picolines De La Parroquia San José De Guayusa En La Provincia De Orellana. *Escuela Superior Politécnica Del Chimborazo*. Riobamba : s.n., 2014.

14. Manual De Prácticas De Laboratorio. *Universidad Politécnica*. [En línea] 2012.  
[http://www.upemor.edu.mx/labo/tarchivos/archivos/HEAL/practica\\_9.pdf](http://www.upemor.edu.mx/labo/tarchivos/archivos/HEAL/practica_9.pdf).