

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DEL HOSPITAL GENERAL  
DE ACCIDENTES DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL  
Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO  
(13 AVENIDA 1-51 ZONA 4 DE MIXCO, COLONIA MONTE REAL)

**ESTUDIO ESPECIAL**

PRESENTADO A LA  
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS  
HIDRÁULICOS (ERIS)  
POR

**INGENIERO DANILO GERARDO MONGE GUILLÉN**  
**INGENIERA ERIKA PAOLA DEL CID COLINDRES**



COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTROS EN INGENIERÍA SANITARIA**  
(MAGISTER SCIENTIFICAE)

GUATEMALA, JUNIO DE 2006.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paíz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazmina Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Veliz Vargas

**DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE  
INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS**

MSc. Ing. Pedro Saravia Celis

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL**

EXAMINADOR	MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
EXAMINADOR	MSc. Ing. Zenón Much Santos
EXAMINADOR	MSc. Julio Guillermo García Ovalle

**ASESOR DE ESTUDIO ESPECIAL**

MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos

## DEDICATORIA

**A Dios, merecedor de todo honor, honrra y gloria:** por haberme abierto las puertas y darme la oportunidad de realizar este estudio, y así culminar una etapa más en la educación, por darme la sabiduría, la inteligencia, la prudencia, el conocimiento y la fortaleza necesaria en los momentos difíciles.

**A mi esposa Maribel Castrillo Soto:** por su decisión de dejar todo para viajar junto con nuestro hijo Daniel a Guatemala, para permanecer a mi lado hasta concluir con este estudio, a pesar de las dificultades que hemos enfrentado, por sus oraciones a Dios en mi favor, amor, apoyo y comprensión.

**A mi hijo Daniel Josué Monge Castrillo:** por su amor y cariño.

**A mis padres Gerardo Monge Cruz y Rosa María Guillén Elizondo:** por su amor, consejos y aliento.

**A mi hermana Grace María Monge Guillén y a mi cuñado William Abarca:** por el apoyo emocional en los momentos difíciles de este estudio.

**A mi hermano Roy Daniel Monge Guillén:** por su apoyo.

**A mi sobrino Fabián Abarca Monge:** por el cariño que me ha brindado, a pesar de su corta edad.

**A mi abuelita Adelia Elizondo Arias:** por sus oraciones y el deseo de que esté nuevamente en mi tierra.

**A mis suegros Carlos Bejarano y Alexa Soto:** por sus oraciones y el apoyo que me han brindado.

**A mi cuñada Marisol y su hija Katherine:** por sus oraciones y el apoyo emocional que me han brindado.

**A la abuelita de mi esposa Erlinda Barrantes y su tío Rolando Soto:** por sus oraciones y apoyo emocional.

**A mis amigos de Guatemala:** Norma A., Nicolás G. y Flor de María S.: por la colaboración brindada.

## DEDICATORIA

**A Dios:** pues sin Él, nada hubiera sido posible.

**A mis Padres. Carlos Fernando Del Cid Pinot (Q.E.P.D.), Rosa Maria Colindres Salguero (Q.E.P.D.):** por su amor, ejemplo y entrega.

**A mis Abuelos, Arnoldo Colindres Barrios (Q.E.P.D.), Juana Salguero Berduo:** por su amor, cariño, sacrificio y por haber moldeado mi vida.

**A mis Hermanas, Brenda Ninnette Del Cid Colindres, Heidy Carolina Del Cid Colindres:** por su amor, apoyo y por estar siempre a mi lado.

**A mi tío Ricardo Arnoldo Colindres Salguero:** Por su cariño y apoyo.

**A mi cuñado Erik Manrique Rodríguez:** por su cariño y apoyo.

**A mis amigos:** Ana M., Alejandro N., Norma A. Francisco C., Osberto F., Mario C., Jorge V., Rony, Giovanni, Bertha F., Evelyn R., Karen M.

## **AGRADECIMIENTOS**

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), por el apoyo brindado.

Al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD), por la beca otorgada, especialmente a la Lic. Neddy Zamora, por toda la ayuda brindada.

A la autoridad para el manejo sustentable de la cuenca y del lago de Amatitlán, quienes colaboraron con los análisis fisicoquímico de las muestras de aguas residuales del Hospital de Accidentes. El agradecimiento especial al MSc. Lic. Hayro García y la Licda. Elsa Jauregui.

Al Hospital General de Accidentes del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, por haber permitido que el estudio se llevara a cabo en sus instalaciones.

A nuestro asesor MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos, que siempre nos ha ayudado en la parte técnica y, además, nos ha apoyado en los momentos difíciles de este estudio, y en la defensa de nuestros derechos.

A la ingeniera Norma Avendaño Flores, de forma especial, por habernos brindado el apoyo y la asesoría en el transcurso de este estudio.

Al MSc. Ing. Pedro Saravia Celis por haber creído en nuestro estudio, por su ayuda y colaboración.

Al MSc. Ing. Julio Guillermo García Ovalle por su apoyo en este estudio y, además, porque ha sido la persona que en los momentos más difíciles nos ha brindado su ayuda.

A la arquitecta Gabriela Murillo Jenkins, Gerente de Operaciones de la Caja Costarricense de Seguro Social, por su apoyo y motivación para estudiar ingeniería sanitaria en la ERIS.

A mis compañeros de la Caja Costarricense de Seguro Social por su apoyo, en especial a la ingeniera Liliana Zuñiga y a los arquitectos Jorge Abarca y Francisco Chacón, quienes han sido mis garantes ante la CCSS.

Al Departamento de Infraestructura Institucional del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, por el apoyo brindado en la realización de este estudio.

A TODOS ELLOS, MUCHAS GRACIAS, QUE DIOS LOS BENDIGA.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VI
GLOSARIO.....	X
SIMBOLOGÍA.....	XIV
RESUMEN.....	XVI
OBJETIVOS .....	XVIII
Objetivo general.....	XVIII
Objetivos específicos .....	XVIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	XX
HIPÓTESIS.....	XXII
INTRODUCCIÓN .....	XXIV
JUSTIFICACIÓN .....	XXVI
1. ANTECEDENTES.....	28
2. ALCANCES Y LIMITACIONES .....	30
3. MARCO TEÓRICO.....	31
3.1 Tipología de los efluentes líquidos hospitalarios .....	31
3.2 Tratamientos biológicos para las aguas residuales.....	33
3.3 Proceso de lodos activados.....	34
3.3.1 Descripción de las etapas principales del proceso de lodos activados.....	34
3.3.2 Sistema de aireación extendida o prolongada .....	35
3.3.3 Procesos unitarios del tratamiento .....	35
3.4 Parámetros por evaluar en el laboratorio .....	36
3.5 Carga contaminante.....	38
3.6 Riesgos ecológicos por descargas de aguas residuales hospitalarias en redes de distribución urbana.....	39
3.7 Tipos de desechos sólidos hospitalarios y manejo adecuado.....	41
4. GENERALIDADES DEL NOSOCOMIO .....	42
4.1 Descripción del Hospital General de Accidentes.....	42
4.2 Sistema de agua potable del Hospital General de Accidentes .....	44
4.3 Sistema de evacuación de aguas del Hospital General de Accidentes.....	44
5. METODOLOGÍA .....	48
5.1 Procedimiento para la elaboración del estudio.....	48
5.2 Instrumentos.....	49
5.3 Proceso de toma de muestras .....	49
5.4 Vertedero para medición del caudal.....	53
5.5 Aforos volumétricos para medición del caudal.....	54

5.6	Análisis estadístico para determinar el número de muestras.....	55
6.	RESULTADOS.....	56
6.1.	Mediciones de caudal.....	56
6.2.	Resultados de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos realizados en los puntos de muestreo.....	59
6.3.	Determinación del pH de las diferentes sustancias utilizadas en lavandería .....	70
6.4.	Relación DBO <sub>5</sub> /DQO y carga contaminante.....	72
7.	SELECCIÓN DE OPCION Y DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES.....	76
7.1.	Selección de opción de tratamiento.....	76
7.1.1.	Criterios de selección.....	76
7.2.	Diseño de planta de tratamiento.....	86
7.2.2.	Selección y ubicación de la planta de tratamiento .....	86
7.2.3.	Proceso de pretratamiento en área de lavandería.....	86
7.2.4.	Descripción del sistema de tratamiento.....	87
7.2.4.1	Estación de bombeo .....	88
7.2.4.2	Caja disipadora de caudal y excesos .....	88
7.2.4.3	Canal de rejillas .....	88
7.2.4.4	Desarenadores .....	88
7.2.4.5	Medidor de caudal.....	89
7.2.4.6	Desengrasador.....	89
7.2.4.7	Tanques de aireación (lodos activados) .....	89
7.2.4.8	Sedimentador secundario .....	89
7.2.4.9	Desinfección.....	90
7.2.4.10	Digestor anaeróbico .....	90
7.2.4.11	Patio de secado de lodos .....	90
7.2.5.	Resumen de diseño del sistema de tratamiento.....	91
7.2.6.	Estimación de costo de la opción de tratamiento.....	92
8.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	93
8.1.	Caudal .....	93
8.2.	Resultados de análisis físicos, químicos y bacteriológicos.....	94
8.3.	Sustancias utilizadas en el área de lavandería.....	101
8.4.	Relación DBO <sub>5</sub> /DQO y carga contaminante.....	102
9.	CONCLUSIONES .....	104
10.	RECOMENDACIONES.....	106
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	108
12.	ANEXOS.....	114
12.1.	Anexo No. 1: organigrama y croquis del Hospital General de Accidentes ...	116
12.2.	Anexo No. 2: planos de la planta de tratamiento de aguas residuales .....	122
12.3.	Anexo No. 3: presupuesto de la planta de tratamiento y otras mejoras al sistema de evacuación de aguas .....	140

12.4.	Anexo No. 4: equipo por colocar en la planta de tratamiento.....	148
12.5.	Anexo No. 5: resultados de análisis de laboratorio.....	156
12.6.	Anexo No. 6: formularios utilizados en este estudio .....	168



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

Figura 1. Problemas ambientales de efluentes de hospitales .....	39
Figura 2. Diagrama de flujo para determinar el alto riesgo de contaminación eco toxicológico provocado por los efluentes hospitalarios .....	40
Figura 3. Localización geográfica del hospital en estudio .....	42
Figura 4. Área húmeda; servicio de nutrición .....	45
Figura 5. Detalle de trampa de grasas existente en el servicio de nutrición .....	46
Figura 6. Incrustaciones de residuos de hipoclorito de calcio en las paredes del pozo PV16.....	47
Figura 7 A. Ubicación general del sistema de evacuación de aguas residuales del Hospital General de Accidentes .....	50
Figura 7 B. Localización de puntos de muestreo en pozos de descarga de aguas residuales del Hospital General de Accidentes .....	51
Figura 8. Vertedero triangular colocado en pozo PV16.....	53
Figura 9. Aforo volumétrico por realizar en los puntos de toma de muestras No 1, 2 y 3 (ver figura 7). .....	54
Figura 10. Gráfica para determinar número de muestras a diferentes niveles de confianza	55
Figura 11. Gráfica de consumo de agua potable en el hospital.....	57
Figura 12. Gráfica del comportamiento horario del caudal de aguas residuales en el período de muestreo; punto No.4. ....	58
Figura 13. Gráfica del crecimiento bacteriano tomando en cuenta las variaciones de potencial de hidrógeno en el período de muestreo ( $1E+0X = 1 \times 10^X$ ) .....	69
Figura 14. Sustancia químicas utilizadas para el lavado de ropa; lavandería .....	70
Figura 15. Diagrama de la planta de tratamiento de aguas residuales. ....	87
Figura 16. Resumen del diseño del proceso de lodos activados. ....	91
Figura 17. Organigrama del Hospital General de Accidentes.....	118
Figura 18. Esquema de área de sótano .....	119
Figura 19. Esquema de área de primer nivel.....	119
Figura 20. Esquema de área de segundo nivel .....	120
Figura 21. Área de Casa de Máquinas donde se ubican las calderas e incinerador .....	120

Figura 22. Cocina, área de dietas, máquina de limpieza de azafates, marmitas. ....	121
Figura 23. Lavandería, área de clasificación de ropa y lavadoras industriales. ....	121
Figura 24. Lavandería, lavadoras, secadoras y área de planchado (mangle). ....	121
Figura 25. Laboratorio, distintas áreas y autoclaves. ....	121
Figura 26. Ubicación general de la planta de tratamiento de lodos activados .....	124
Figura 27. Modificaciones al sistema de evacuación de aguas residuales .....	125
Figura 28. Pozo de registro por construir PV17.....	126
Figura 29. Planta y sección de caja de registro por construir para realizar el pretratamiento de estabilización de pH en las aguas provenientes de lavandería.....	127
Figura 30. Planta y sección de caseta por construir para realizar el pretratamiento de estabilización de pH en las aguas provenientes de lavandería.....	128
Figura 31. Planta y corte en elevación de la estación de bombeo.....	129
Figura 32. Cortes transversales en elevación de la estación de bombeo.....	130
Figura 33. Vista en planta de la planta de tratamiento de lodos activados .....	131
Figura 34. Vista superior de la planta de tratamiento de lodos activados, incluyendo equipo de aireación .....	132
Figura 35. Corte sección pretratamiento .....	135
Figura 36. Corte sección aireadores y sedimentador secundario .....	135
Figura 37. Corte sección aireador y digester de lodos.....	136
Figura 38. Corte sección lecho de secado de lodos.....	136
Figura 39. Detalle de trampa de instalación de manómetros en tubería de aire y notas adicionales para la construcción.....	137
Figura 40. Detalle de pozo de registro circular para aguas residuales y notas adicionales para la construcción.....	138
Figura 41. Equipo analizador de pH en línea y electrodo.....	150
Figura 42. Bomba para dosificación de ácido sulfúrico.....	151
Figura 43. Aireadores tipo <i>Blower</i> a colocar en la planta de tratamiento propuesta.....	152
Figura 44. Difusores tipo de aire – difusor membrana de burbuja gruesa a colocar en la planta de tratamiento propuesta .....	153
Figura 45. Equipo de bombeo propuesto para impulsar el agua residual a la planta de tratamiento propuesta.....	154
Figura 46. Equipo propuesto para desinfección de aguas residuales tratadas (sistema de rayos ultra violeta).....	155

## TABLAS

Tabla I. Parámetros fisicoquímicos.....	36
Tabla II. Parámetros bacteriológicos.....	38
Tabla III. Desechos sólidos hospitalarios y su segregación.....	41
Tabla IV. Servicios hospital de accidentes .....	43
Tabla V. Caudal promedio de aguas residuales en varios puntos de descarga del hospital.	56
Tabla VI. Resultados de análisis fisicoquímicos en punto No.1 .....	59
Tabla VII. Resultados de análisis bacteriológicos en punto No.1.....	60
Tabla VIII. Resultados de análisis fisicoquímicos en punto No.2 .....	61
Tabla IX. Resultados de análisis bacteriológicos en punto No.2.....	62
Tabla X. Resultados de análisis fisicoquímicos en punto No.3 .....	63
Tabla XI. Resultados de análisis bacteriológicos en punto No.3 .....	64
Tabla XII. Resultados de análisis fisicoquímicos en punto No.4 .....	65
Tabla XIII. Resultados de análisis bacteriológicos en punto No.4 .....	67
Tabla XIV. Sustancias utilizadas en lavandería.....	70
Tabla XV. Determinación del pH de las sustancias químicas utilizadas en lavandería.....	71
Tabla XVI. Relación DBO <sub>5</sub> /DQO para determinar la biodegradabilidad del agua residual	72
Tabla XVII. Comparación de los valores promedio de los análisis realizados en el punto No.4 contra los datos de una concentración de agua residual doméstica según Metcalf & Eddy. ....	73
Tabla XVIII. Carga contaminante promedio del Hospital General de Accidentes y comparación con los parámetros de los valores teóricos de las aguas residuales domésticas.....	74
Tabla XIX. Parámetros selección con sub-criterio de costo de construcción .....	77
Tabla XX. Parámetros selección tratamiento con sub-criterio costo operación y mantenimiento.....	77
Tabla XXI. Parámetros selección tratamiento con sub-criterio social y ambiental .....	78
Tabla XXII. Parámetros selección tratamiento con sub-criterio de rango de aplicación.....	79
Tabla XXIII. Criterio selección de tratamientos con sub-criterio de simplicidad de construcción .....	80
Tabla XXIV. Criterio de selección de tratamientos con sub-criterio de superficie necesaria.....	81

Tabla XXV. Criterio de selección de tratamientos con sub-criterio de simplicidad de operación y mantenimiento .....	81
Tabla XXVI. Parámetros para selección de tratamientos con el sub-criterio de eficiencia de remoción.....	83
Tabla XXVII. Parámetros para el criterio de selección de tratamientos con el sub-criterio de estabilidad.....	84
Tabla XXVIII. Parámetros para el criterio de selección de tratamientos con el sub-criterio de producción de lodo.....	84
Tabla XXIX. Selección de opciones de tratamiento de aguas residuales .....	85
Tabla XXX. Estimación del costo por proceso de tratamiento de las aguas residuales del Hospital General de Accidentes del IGSS .....	92
Tabla XXXI. Listado de las partes de la planta de tratamiento .....	133
Tabla XXXII. Presupuesto detallado de la planta de tratamiento y otras mejoras al sistema evacuación de aguas del hospital .....	142
Tabla XXXIII. Características del equipo analizador de pH en línea.....	150
Tabla XXXIV. Características de la bomba para dosificar ácido sulfúrico .....	151
Tabla XXXV. Resultado de análisis fisicoquímicos; muestras compuestas punto No.1 ...	158
Tabla XXXVI. Resultado de análisis bacteriológicos de muestras puntuales del punto No.1159	
Tabla XXXVII. Resultado de análisis fisicoquímico; muestras compuestas punto No.2..	160
Tabla XXXVIII. Resultado de análisis bacteriológicos; muestras puntuales del punto No.2.....	161
Tabla XXXIX. Resultado de análisis fisicoquímicos; muestras compuestas del punto No.3.....	162
Tabla XL. Resultado de análisis bacteriológico; muestras puntuales del punto No.3 .....	163
Tabla XLI. Resultado de análisis fisicoquímicos; muestras compuestas del punto No.4..	164
Tabla XLII. Resultado de análisis bacteriológicos; muestras puntuales punto No.4 (análisis del 1 al 5) .....	165
Tabla XLIII. Resultado de análisis bacteriológicos; muestras puntuales punto No 4 (análisis del 6 al 10) .....	166

## **GLOSARIO**

<b>Afluente</b>	Corriente de agua que abastece otro curso de agua o alimenta una instalación.
<b>Aforo</b>	Medir el caudal de un líquido.
<b>Aguas residuales</b>	Son aguas de origen doméstico, industrial, subterráneo y meteorológico, y estos tipos de aguas residuales suelen llamarse respectivamente, domésticas, industriales, de infiltración y pluviales.
<b>Aireación</b>	Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales o artificiales.
<b>Alicuota</b>	Muestra puntual de agua residual tomada en un instante de tiempo.
<b>Bacterias aeróbicas</b>	Organismos unicelulares y microscópicos, que realizan todos sus procesos con la ayuda del oxígeno.

<b>Bacterias anaeróbicas</b>	Bacterias unicelulares y microscópicas que sobreviven sin la presencia de oxígeno.
<b>Biomasa</b>	Masa de materia viva que se encuentra en un medio.
<b>Caudal</b>	Razón entre el volumen de un fluido y el tiempo que la misma demora en pasar por una determinada sección transversal. Volumen de un fluido que pasa por una sección transversal en la unidad de tiempo.
<b>Cisterna</b>	Depósito de almacenamiento de agua.
<b>Cota invert</b>	Elevación en la parte inferior del conducto que transporta el agua.
<b>Decloración</b>	Eliminación del cloro del agua.
<b>Desinfección</b>	Destrucción selectiva de organismos que producen enfermedades.
<b>Demanda bioquímica de oxígeno</b>	Indica la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos vivos para la utilización o la destrucción aeróbica de la materia orgánica. Representa la cantidad de oxígeno disuelto que puede

ser necesario para desarrollar y sostener la actividad biológica precisa para degradar una determinada cantidad de residuos.

**Dotación** Cantidad de agua que se asigna a una unidad consumidora.

**Efluente** Agua que sale de un medio de tratamiento, que ha sido sometida a operaciones y procesos.

**Lodo** Parte semisólida de las aguas residuales que sedimenta y es atacada por bacterias.

**Nosocomio** Centro hospitalario.

**Patógenos** Organismos causantes de enfermedades.

**Rayos uv** Es la radiación electromagnética comprendida entre los valores de longitud de onda de 4 a 400 nanómetros.

**Tratamiento** Acción o conjunto de acciones que se ejecutan para

remover sustancias contaminantes al agua.

**Tratamiento primario**

Remoción de sólidos suspendidos por medio de procedimientos físicos como: sedimentación, filtración, flotación, floculación y precipitación.

**Tratamiento secundario**

Remoción de material coloidal y en suspensión por medio de procesos biológicos (a través de la acción de microorganismos presentes en las aguas residuales).

**Tratamiento terciario**

Grado de tratamiento necesario para alcanzar una calidad físico-químico-biológica adecuada, le da una calidad al agua de acuerdo con el reuso que se le pretenda dar a las aguas residuales (remoción de sólidos suspendidos, compuestos orgánicos, compuestos inorgánicos, nutrientes y microorganismos patógenos).

**Vertedero**

Abertura de forma geométrica que posee una lámina o placa, que sirve para medir el caudal de un fluido.

## SIMBOLOGÍA

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
DBO <sub>5</sub> (20°C)	Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días a 20°C.
DQO	Demanda Química de Oxígeno.
HG	Hierro galvanizado.
kg/cm <sup>2</sup>	Kilogramo por centímetro cuadrado.
l/d	Litros por día.
l/cama/d	Litros por cama por día.
l/habitante/d	Litros por habitante por día.
l/s	Litros por segundo.
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado.
m <sup>3</sup>	Metro cúbico.
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica.
NMP CF/100 cm <sup>3</sup>	Número más probable de coliformes fecales por 100 centímetros cúbicos.
pH	Potencial de hidrógeno.
PVC	Cloruro de polivinilo.
RAFA	Reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (conocido por sus siglas en inglés como UASB).



## RESUMEN

Debido a que en Guatemala y en Costa Rica no se contaba con información de la caracterización de aguas residuales de origen hospitalario, se realizó una investigación en el Hospital General de Accidentes del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, para comparar la calidad del agua residual proveniente del hospital con las características teóricas establecidas por Metcalf & Eddy para las aguas residuales de origen doméstico, a fin de establecer los tratamientos biológicos adecuados.

Se establecieron los puntos de muestreo, se diseñó y construyó un sistema de medición de caudal que consistió en un vertedero triangular ubicado en el punto de muestreo No.2.

De las muestras captadas en diferentes puntos se realizaron análisis físicos, químicos y bacteriológicos de las aguas residuales provenientes de diferentes áreas del hospital y de la descarga general. Según los resultados de calidad de agua, carga contaminante, caudal y criterios técnicos, se realizó el análisis de opciones de tratamiento y selección de un sistema de procesos físicos, químicos y biológicos (lodos activados).

Por lo tanto, se determinó que las aguas residuales del hospital difieren de las aguas residuales domésticas en el valor del potencial de hidrógeno en, aproximadamente, 2 a 3 unidades. Además, se determinó que las características físicas, químicas y bacteriológicas permiten que se puedan utilizar tratamientos biológicos para su degradación si se logra mantener el valor de pH entre 6,5 y 8,5. También se determinó que la carga contaminante promedio es de 157,00 kg/día (0,492 kg/cama/d) de DBO<sub>5</sub> y de 290,17 kg/día (0,910 kg/cama/d) de DQO para las condiciones actuales del sistema de evacuación, que el factor de retorno de aguas residuales es del 93,0% y que el caudal de aguas residuales generado por el hospital en promedio es de 5.92 l/s (1.6m<sup>3</sup>/cama/día) para un total de 319 camas.



## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Analizar la calidad de las aguas residuales del Hospital General de Accidentes del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social y proponer un tratamiento.

### **Objetivos específicos**

1. Determinar la carga contaminante de las aguas residuales que genera el Hospital General de Accidentes.
2. Establecer la situación actual de la red de drenaje de aguas residuales del Hospital General de Accidentes y fijar los puntos de muestreo.
3. Determinar valores promedios de parámetros de contaminación de las aguas residuales del Hospital General de Accidentes y establecer comparaciones con parámetros teóricos establecidos por Metcalf & Eddy para aguas residuales domésticas.
4. Comparar los parámetros de calidad de agua residual del hospital con los reglamentos de calidad de agua para vertidos, establecidas para Guatemala y Costa Rica.
5. Con las características de las aguas residuales del Hospital General de Accidentes, seleccionar, diseñar y estimar el costo de un sistema de tratamiento apropiado para cumplir con lo establecido en las normas de calidad de aguas residuales por verter en un alcantarillado público.



## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Debido a que en Guatemala y en Costa Rica no se contaba con información de la caracterización de las aguas residuales de origen hospitalario se consideró importante por parte de Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y de Recursos Hidráulicos – ERIS- realizar una investigación al respecto.

En vista de que la infraestructura nosocomial de ambos países ha sido construida en su mayoría con anterioridad a que fuesen publicados los reglamentos para vertido de aguas residuales hacia alcantarillados públicos o cuerpos receptores, se consideró necesaria la evaluación de las características de aguas residuales y plantear una propuesta de tratamiento de dichas aguas.

Por lo anterior, **¿serán las aguas residuales del Hospital General de Accidentes del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social similares a los parámetros teóricos establecidos por Metcalf & Eddy para las aguas residuales domésticas y podrán ser tratadas biológicamente?**



## **HIPÓTESIS**

El agua residual del Hospital General de Accidentes del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social genera una carga contaminante similar a los parámetros teóricos del agua residual doméstica, establecidos por Metcalf & Eddy, y sus características físicas, químicas y bacteriológicas permiten que se establezcan tratamientos biológicos.



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad son cuantiosos los avances en las diferentes ramas de la medicina que han venido a aumentar el índice de esperanza de vida de las poblaciones. A nivel centroamericano han surgido una gran cantidad de centros de salud equipados con la más alta tecnología y personal altamente calificado para brindar servicios a la altura de los hospitales de países desarrollados.

Desafortunadamente, los grandes logros que se han tenido en el área de la salud no han sido encaminados a la conservación del medio ambiente, por lo cual éste se ha seguido degradando. Hoy día se depositan grandes cantidades de residuos sólidos, líquidos y hasta elementos radiactivos al medio ambiente sin un adecuado tratamiento, esto constituye un potencial de propagación de enfermedades y riesgos ambientales. Es por ello que estos problemas trascienden el campo técnico sanitario e involucran aspectos educativos, sociales, económicos, políticos y ambientales.

Uno de los principales contribuyentes de la degradación del medio ambiente son las descargas de aguas residuales de los hospitales que ocasionan riesgos por los posibles efectos patogénicos de numerosos microorganismos, efectos tóxicos y genotóxicos de una gran variedad de sustancias químicas generadas en los centros de salud.

La buena disposición y control de las aguas residuales esta íntimamente relacionada con la infraestructura del sistema de evacuación, el cual debe tener las condiciones más óptimas que permitan que este desecho pueda llegar al desfogue para un tratamiento final o que puedan ubicarse algunos puntos de pretratamiento para modificar las características de las aguas antes del mismo.



## JUSTIFICACIÓN

Los centros hospitalarios generan una cantidad considerable de aguas residuales de diferente, grados de contaminación, las que son vertidas a los cuerpos receptores o sistemas colectores municipales con poco o ningún tratamiento.

Debido a que se desconoce el grado de contaminación de las aguas residuales del Hospital General de Accidentes, del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social se consideró de importancia realizar una comparación de los resultados obtenidos en los diferentes muestreos contra parámetros característicos de aguas residuales de origen doméstico, con la finalidad de evaluar la factibilidad de una propuesta para un sistema de procesos de tratamiento.

El comportamiento común de la calidad de las aguas residuales de los hospitales estará en función de las políticas institucionales de operación, la regulaciones de ley con respecto a lo que debe o no debe verterse en los sistemas de evacuación de aguas residuales, la cantidad de personal, pacientes hospitalizados, pacientes atendidos diariamente y servicios que forman parte del complejo hospitalario o centro médico.

La importancia de la investigación es establecer la calidad del agua que está siendo emanada por el centro hospitalario en estudio, a la cuenca del río Naranjito que se encuentra ubicado dentro de los límites de la cuenca del lago de Amatitlán.

Adicionalmente, esta información es de interés para el diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales que, en muchas ocasiones y a falta de un historial de caracterización de las aguas residuales, se suponen valores erróneos que corresponden a los citados en la literatura o a los establecidos en investigaciones de otros países cuyas políticas de operación de estos centros son diferentes.

Es de esperar que, si la información de los parámetros de contaminación de las aguas residuales no son los correctos, generen diseños de plantas de tratamiento inadecuadas en tipo de tratamiento, tamaño y la calidad del efluente que genere; lo que afectará la vida útil y la eficiencia de ésta.

## 1. ANTECEDENTES

En el 2004 se publica un artículo denominado “Aguas residuales de un centro hospitalario de Buenos Aires, Argentina: características químicas, biológicas y toxicológicas” realizado por Marta Paz y otros, pertenecientes a la cátedra de Higiene y Sanidad, Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires, Argentina. El objetivo de este estudio era evaluar si las aguas residuales de un hospital de Buenos Aires, Argentina cumplían con los parámetros del reglamento para vertidos de aguas residuales a un colector. En este estudio se encontró que los datos fisicoquímicos obtenidos en las muestras correspondientes a noviembre y diciembre son similares e inferiores a los límites establecidos para descarga al colector cloacal y el número de microorganismos viables, comparados con trabajos de otros autores (Ferreira La Rosa y cols., 2000; Kümmerer, 2001), fue bajo en varias muestras. Entre los resultados del estudio se tiene que:

DBO<sub>5</sub>: 38 a 77 mg/l

DQO: 240 a 257 mg/l

pH: 5,5 a 6 unidades de pH

Coliformes fecales:  $3 \times 10^3$  a  $5,5 \times 10^4$  NMP/100cm<sup>3</sup>

En el 2004 se publicó la tesis de doctorado del ingeniero sanitario Evens Emmanuel denominada: Evaluation des Risques Sanitaires et Ecotoxicologiques Lies aux Effluents Hospitaliers. El objetivo de este estudio es la evaluación de los riesgos sanitarios y ecotoxicológicos de los efluentes hospitalarios. En dicho estudio se llegó a la conclusión de que los efluentes hospitalarios son, a menudo, considerados como similares a los efluentes domésticos y pueden ser caracterizados por la concentración de parámetros globales dentro de los límites siguientes:

DBO<sub>5</sub>: 0 a 400 mg/l

DQO: 150 a 800 mg/l

SST: 60 a 200 mg/l

Además, determinó que el caudal de descarga de las aguas residuales en Francia varía de 400 a 1200 litros por cama por día.

En el 2000 se publicó un artículo denominado: Variaciones del caudal y consumos de agua relativos a una cama en el hospital “Abel Santamaría” en Pinar del Río, Cuba, este artículo fue realizado por el ingeniero hidráulico Jorge R. de Armas. Este estudio tenía como objetivo el establecer parámetros de consumo de agua potable y parámetros de descarga de aguas residuales relacionados al número de camas del hospital “Abel Santamaría” en Pinar del Río, Cuba. Se concluye que para este tipo de instituciones es posible establecer caudales de consumo de agua potable y descarga de aguas residuales asociados al número de camas ocupadas y se obtuvo como resultado principal que el caudal de aguas residuales del hospital variaba entre 0,47 y 0,98 m<sup>3</sup>/cama/día.

Este último estudio no está directamente relacionado con la calidad de las aguas residuales de un centro hospitalario, pero es un antecedente importante para esta investigación, debido a que tiene como resultado parámetros indicativos de consumo de agua potable y descarga de aguas residuales relacionado con el número de camas de un centro hospitalario en Latinoamérica, y sirvió para comparar con los caudales de descarga de aguas residuales del Hospital General de Accidentes del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.

## **2. ALCANCES Y LIMITACIONES**

- El presente trabajo proporciona información técnica de los parámetros que se deben tomar en cuenta para la determinación de la calidad de agua residual en los centros hospitalarios y si ésta puede ser calificada como agua residual de origen doméstico.
- Realizar una evaluación del sistema de aguas residuales del hospital en estudio.
- Los análisis físicos, químicos y bacteriológicos en este estudio están limitados por la accesibilidad al equipo, reactivos y costo de los mismos, por lo que se tratará de hacer los análisis más representativos posibles.
- Proporcionar la información necesaria para que se establezca un sistema de tratamiento o pretratamiento para las aguas vertidas por el hospital en estudio.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Tipología de los efluentes líquidos hospitalarios

Los establecimientos hospitalarios producen tres tipos de desechos líquidos:

1. De origen doméstico (las aguas provenientes de cocinas, desechos resultantes de actividades de lavandería, de la higiene de los pacientes y del personal).<sup>1</sup>
2. Industriales (las aguas provenientes de estacionamientos y de talleres contienen frecuentemente un volumen importante de aceites y de detergentes).<sup>1</sup>
3. Generados por las actividades de aseo, análisis y de búsqueda, que son muy específicos de hospitales. Esos desechos pueden contener productos clínicos y radiactivos, líquidos biológicos, deyecciones / excreciones contagiosas e igualmente residuos de medicamentos eliminados dentro de las excretas de los pacientes. De una manera más o menos exhaustiva, los desechos líquidos específicos de actividades médicas comprenden entre otras:
  - Los efluentes de servicios clínicos: eliminación de glutaraldehídos, micro gotas de mercurio resultado de termómetros quebrados, baños de diálisis;
  - Los efluentes de servicios médicos técnicos: líquidos provenientes de salas de operación con una fuerte concentración de materias orgánicas o líquidos biológicos tales como: sangre, orina, deposiciones, líquidos gástricos, de aspiración traqueo- bronquial, líquidos de derrames peritoneales o pleurales, de drenajes o de irrigación;
  - Los desechos resultantes de conservación de materiales médicos y locales (que contienen más o menos grandes cantidades de detergentes, detergentes/desinfectantes o de desinfectantes con trazas de materias orgánicas o medicamentos).<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Fuente: Evens Emmanuel, **Evaluation Des Risques Sanitaires et Ecotoxicologiques Lies Aux Effluents Hospitaliers (Francia: 2004), pp 34-36.**

- Los desechos de laboratorio médico biológico: sangre, esputos, orinas, ácidos, bases, diversos reactivos, solventes, etc.).<sup>2</sup>
- Los desechos de laboratorio de anatomía- patología:
  - Hidrocarburos bencénicos (tolueno y xileno)
  - Desinfectantes: formol, alcohol etílico, etc
  - Solventes
  - Ácidos (acético, láctico, cítrico)
  - Bases (soda)
  - Colorantes
  - Desechos médicos nucleares
  - Efluentes de radiología (agua de enjuague de clichés cargados de residuos de plata)
  - Desechos de la farmacia hospitalaria (preparación de tintura de yodo, desinfectantes, etc.).<sup>2</sup>

Nota: el marco teórico está limitado debido a que no se encontró literatura relacionada, específicamente, con los desechos líquidos hospitalarios.

---

<sup>2</sup> Fuente: Evens Emmanuel, **Evaluation Des Risques Sanitaires et Ecotoxicologiques Lies Aux Effluents Hospitaliers (Francia: 2004), pp 34-36.**

### 3.2 Tratamientos biológicos para las aguas residuales

Para que se puedan establecer tratamientos del tipo biológico a las aguas residuales, éstas deben contener una serie de características que permitan la estabilidad de un grupo heterogéneo de microorganismos responsables de estabilizar la materia orgánica de esta agua.

En todos los sistemas de tratamiento biológico, es necesario que los microorganismos tengan todos los elementos para formar el protoplasma. Los desechos domésticos contienen todos los elementos que la bacteria requiere, pero algunos desechos industriales son deficientes en esta clase de elementos. Los elementos nutricionales primarios ausentes en las aguas industriales son el nitrógeno y el fósforo. La cantidad exacta de nitrógeno y fósforo requerido para un desecho puede estar determinada por la cantidad de lodo producida por día. Las libras de nitrógeno requerido por día pueden ser iguales al 10% de los sólidos volátiles, peso seco, producido cada día, mientras que el fósforo requerido puede ser la quinta parte del nitrógeno requerido. La cantidad de nutrientes puede ser añadida diariamente cuando se ha determinado la cantidad de desechos y la cantidad requerida.<sup>3</sup> Durante la fase de crecimiento bacteriano, el nitrógeno es necesario para la síntesis celular.

Para completar el funcionamiento óptimo del metabolismo celular ECKENFELDER sugiere una relación  $DBO_5$  removida : N : P de 100 : 5 : 1, se obtiene con ello un adecuado tratamiento del agua residual. Algunos otros autores sugieren un requerimiento de nitrógeno de 13 kg por 100 kg de células producidas y una cantidad de fósforo de 2,5 kg por 100 kg de células producidas.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Fuente: Ross E. McKinney. **Microbiology for Sanitary Engineers.** (Estados Unidos, 1962), pp 224-226

<sup>4</sup> Fuente: Luis A. Salas. **Parámetros de control de una planta de lodos activados.** (Guatemala, 1987), p 14.

### 3.3 Proceso de lodos activados

El proceso de lodos activados puede ser definido como un sistema de tratamiento en el cual una masa biológica heterogénea de microorganismos (lodo activado) es continuamente recirculada y puesta en contacto con la materia orgánica del desecho líquido del efluente al sistema en presencia de oxígeno molecular (por difusión de aire comprimido o por aireación mecánica).<sup>5</sup>

El sistema de tratamiento posee tres procesos unitarios básicos que se debe saber: oxidación biológica en la unidad de aireación (reactor biológico) seguido por sedimentación en la unidad de separación o recuperación de sólidos (sedimentador secundario) de donde el lodo separado, en su gran mayoría, es retornado a la unidad de aireación para mezcla con las aguas residuales afluentes y el restante es eliminado del sistema.<sup>5</sup>

#### 3.3.1 Descripción de las etapas principales del proceso de lodos activados

- Etapa de contacto, adsorción o floculación: es la etapa inicial en el reactor biológico, básicamente, consiste en poner en contacto el agua residual cruda (alimento) y el lodo activado (microorganismos).<sup>5</sup>
- Etapa de aireación: ocurre en forma simultánea con la etapa anterior y consiste en mantener aerobiosis (presencia de oxígeno molecular) y en suspensión (mezcla) el licor mezclado (alimento más microorganismos).<sup>5</sup>
- Etapa de separación secundaria: ocurre en el sedimentador secundario y, básicamente, consiste en la remoción física o recuperación del lodo activado del agua residual tratada.<sup>5</sup>
- Etapa de recirculación: es retornar el lodo activado recuperado en el sedimentador secundario, al afluente del tanque de aireación.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Fuente: Luis A. Salas. **Parámetros de control de una planta de lodos activados.** (Guatemala, 1987), pp 3-4.

- Etapa de disposición o purga: consiste en remover el exceso de lodo activado del sistema.<sup>5</sup>

### 3.3.2 Sistema de aireación extendida o prolongada

Este proceso opera en la base de respiración endógena de la curva de crecimiento, la cual necesita una carga orgánica relativamente baja y un período de retención largo, con edades de lodo de 20 a 30 días, una carga de 0,05 a 0,15 kg DBO<sub>5</sub>/kg SSVLM/día. El reactor biológico es de mezcla completa y trabaja con una concentración de lodos de 3 a 6 kg SSVLM/m<sup>3</sup> (sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla por metro cúbico) y una razón de recirculación de 75 a 150% del caudal afluyente al reactor (caudal promedio diario).<sup>6</sup>

La eficiencia del proceso en términos de remoción de materia orgánica es de 75 a 90% y como DBO<sub>5</sub> soluble es del 90 a 98%.<sup>6</sup>

La nitrificación es muy alta, llega a niveles del 90%, por lo que los niveles de oxígeno necesarios para el sistema son mayores que los necesarios para otros sistemas, además, produce una estabilización aeróbica del lodo.<sup>6</sup>

El sistema de aireación extendida no requiere tratamiento primario (sedimentación primaria), solamente, sedimentador secundario.<sup>6</sup>

### 3.3.3 Procesos unitarios del tratamiento

- Pretratamiento por medio de caja disipadora y excesos, canal de rejillas, desarenador y desengrasador.
- Tratamiento primario y secundario por medio de tanques de aireación.

---

<sup>6</sup> Fuente: Luis A. Salas. **Parámetros de control de una planta de lodos activados.** (Guatemala, 1987), p 25.

- Tratamiento terciario por medio de decantador secundario y desinfección por medio de un sistema de Rayos UV.
- Disposición de lodos por medio de un digestor anaerobio y un patio de secado de lodos.

### 3.4 Parámetros por evaluar en el laboratorio

Para evaluar la calidad del agua residual en los centros hospitalarios se deberá contemplar, como mínimo, los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos establecidos en el reglamento del país donde se realiza la investigación. Para un mejor análisis de los resultados estos parámetros deben compararse con otros países en condiciones similares y literatura que presente valores característicos semejantes a los que se investigan.

Tabla I. Parámetros fisicoquímicos

Parámetro	U	Reglamento Guatemala <sup>7*</sup>	Reglamento Costa Rica <sup>8</sup>	Método de análisis <sup>9</sup>
Potencial de hidrógeno (pH)		6 – 9	6 - 9	4500-H
Temperatura	°C	< 40	40	2550-B
Color	U	500	40	2120-C
Sólidos suspendidos totales	mg/l	200	500	2540-D
Sólidos sedimentables	ml/l		1	2540-F
Aceites y grasas	mg/l	60	100	5520-B
DQO	mg/l		1000	5220-D
DBO <sub>5</sub> .(20 °C)	mg/l	200	300	5210-D

<sup>7</sup> Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, **Reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos (Guatemala: Acuerdo 236-2006, 2006).**

<sup>8</sup> Fuente: Ministerio de Salud de Ministerio del Ambiente y Energía, **Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales para Costa Rica (Costa Rica: Decreto Ejecutivo No. 26.042-S-MINAE, 1997), pp. 12-13.**

<sup>9</sup> Fuente: APHA, AWWA, WEF, **Standard Methods for the examination of Water and Waste Water (20th.Ed. Estados Unidos, 1998).**

Parámetro	U	Reglamento Guatemala <sup>10*</sup>	Reglamento Costa Rica <sup>11</sup>	Método de análisis <sup>12</sup>
Sustancias activas al azul de metileno (tensoactivos)	mg/l		10	5540-C
Nitrógeno total	mg/l	40	40	4500-N-B
Fósforo total	mg/l	10	20	4500-P-E
Cianuros	mg/l	1	2	4500-CN-E

Parámetro	U	Reglamento Guatemala <sup>13*</sup>	Reglamento Costa Rica <sup>14</sup>	Método de análisis <sup>15</sup>
Metales pesados				
Cobre	mg/l	3	2	3500-Cu
Cromo	mg/l		2,5	3500-Cr
Zinc	mg/l	10	10	3500-Zn
Cadmio	mg/l	0,1	0,1	3500-Cd
Níquel	mg/l	2	2	3500-Ni
Plomo	mg/l	0,4	0,5	3500-Pb

<sup>10</sup> Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, **Reglamento de descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la disposición de Lodos (Guatemala: Acuerdo 236-2 006, 2 006).**

<sup>11</sup> Fuente: Ministerio de Salud de Ministerio del Ambiente y Energía, **Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales para Costa Rica (Costa Rica: Decreto Ejecutivo No. 26.042-S-MINAE, 1 997), pp. 12-13.**

<sup>12</sup> Fuente: APHA, AWWA, WEF, **Standard Methods for the examination of Water and Waste Water (20th.Ed. Estados Unidos, 1 998).**

<sup>13</sup> Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, **Reglamento de descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la disposición de Lodos (Guatemala: Acuerdo 236-2 006, 2 006).**

<sup>14</sup> Fuente: Ministerio de Salud de Ministerio del Ambiente y Energía, **Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales para Costa Rica (Costa Rica: Decreto Ejecutivo No. 26.042-S-MINAE, 1 997), pp. 12-13.**

<sup>15</sup> Fuente: APHA, AWWA, WEF, **Standard Methods for the examination of Water and Waste Water (20th.Ed. Estados Unidos, 1 998).**

Tabla II. Parámetros bacteriológicos

Parámetro	U	Reglamento Guatemala <sup>16*</sup>	Reglamento Costa Rica <sup>17</sup>	Método de análisis <sup>18</sup>
Coliformes totales	NMP/100cm <sup>3</sup>			9221-F
Coliformes fecales	NMP/100cm <sup>3</sup>	1x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>3</sup>	9221-F

\* Los parámetros utilizados del reglamento de las descargas y reuso de aguas Residuales y de la disposición de lodos para Guatemala son los comprenden la fase 4 para el año 2024.

### 3.5 Carga contaminante

Carga contaminante diaria (Cc). Es el resultado de multiplicar el caudal promedio por la concentración de la sustancia contaminante, por el factor de conversión de unidades por el tiempo diario de vertimiento del usuario medido en horas, es decir:

$$Cc = Q \times C \times 0,0864 \times (t/24)$$

Donde:

Cc: carga contaminante, en kilogramos por día (kg/d).

Q: caudal promedio, en litros por segundo (l/s).

C: concentración de la sustancia contaminante, en miligramos por litro (mg/l).

0,0864: factor de conversión de unidades.

t: tiempo de vertimiento del usuario, en horas por día (h).

<sup>16</sup> Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, **reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos (Guatemala: Acuerdo 236-2006, 2006).**

<sup>17</sup> Fuente: Ministerio de Salud de Ministerio del Ambiente y Energía, **Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales para Costa Rica (Costa Rica: Decreto Ejecutivo No. 26.042-S-MINAE, 1997), p. 6.**

<sup>18</sup> Fuente: APHA, AWWA, WEF, **Standard Methods for the examination of Water and Waste Water (20th.Ed. Estados Unidos, 1998).**

### 3.6 Riesgos ecológicos por descargas de aguas residuales hospitalarias en redes de distribución urbana.

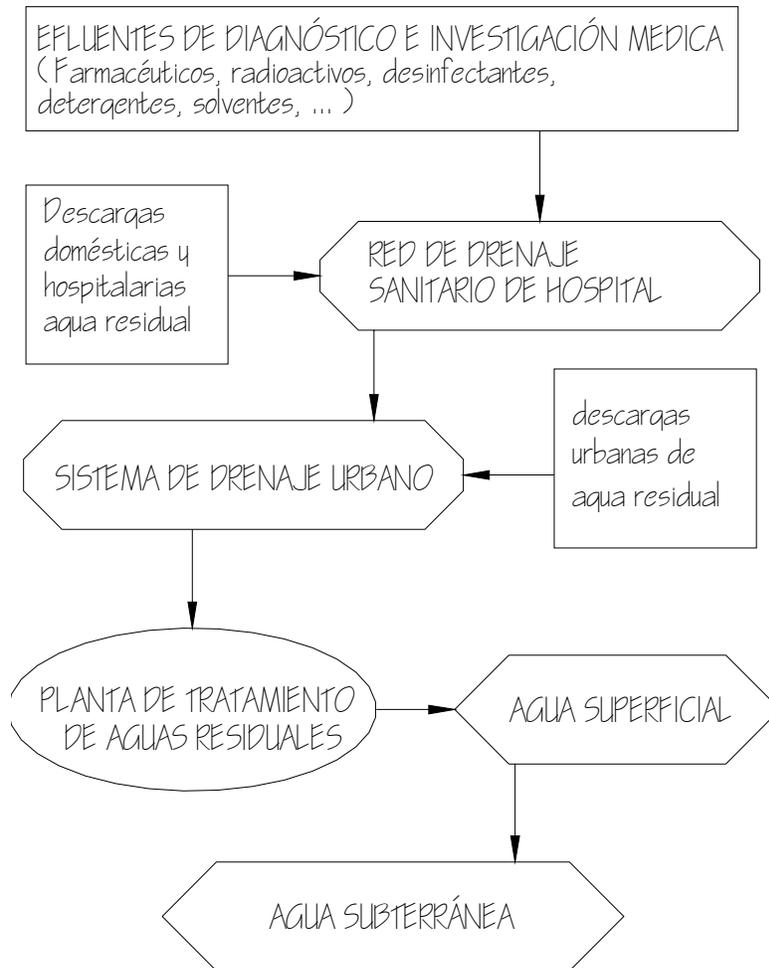


Figura 1. Problemas ambientales de efluentes de hospitales<sup>19</sup>

<sup>19</sup> Fuente: Evens Emmanuel, **Evaluation Des Risques Sanitaires et Ecotoxicologiques Lies Aux Effluents Hospitaliers (Francia: 2004), p. 184.**

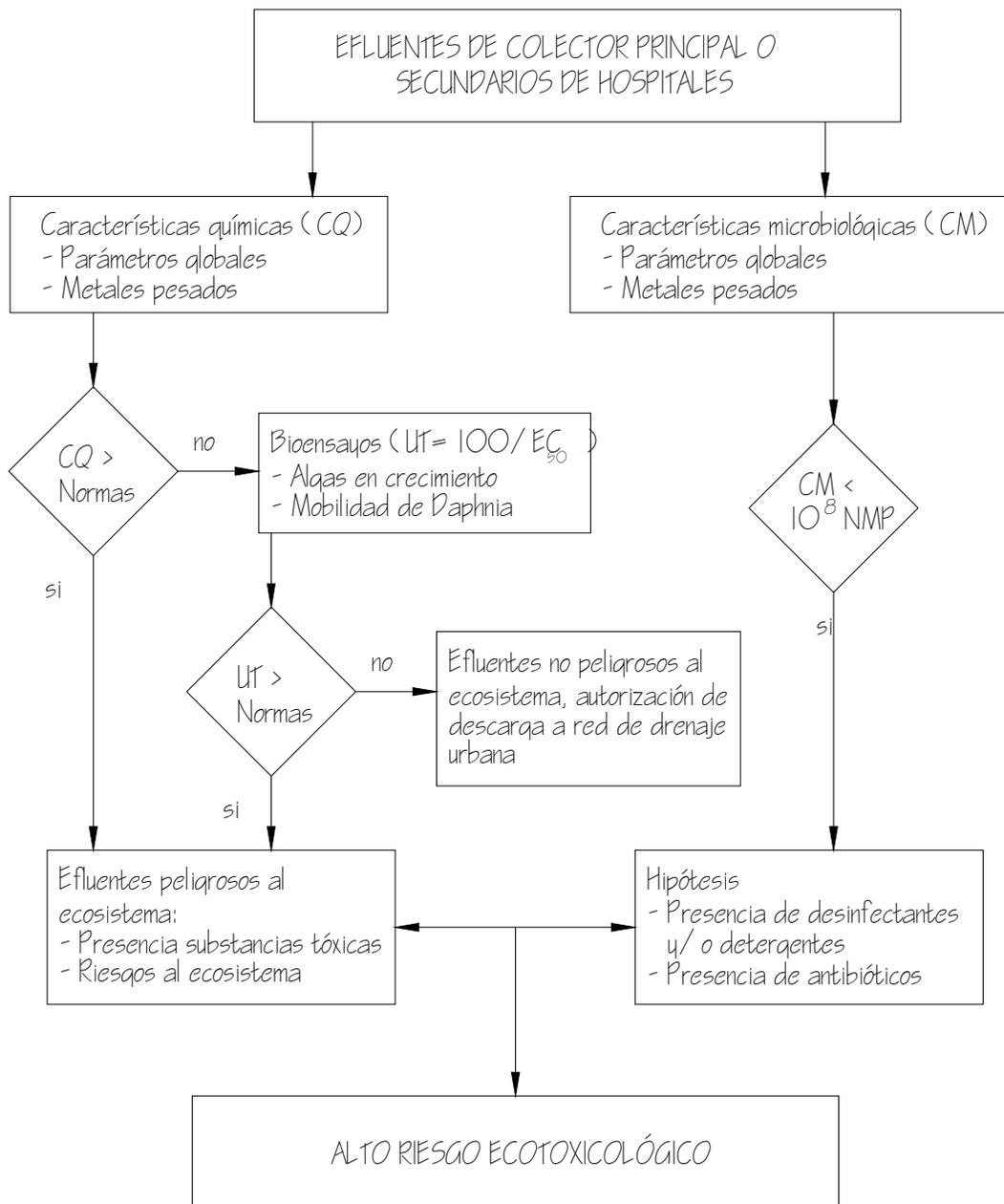


Figura 2. Diagrama de flujo para determinar el alto riesgo de contaminación eco toxicológico provocado por los efluentes hospitalarios<sup>20</sup>

<sup>20</sup> Fuente: Evens Emmanuel, **Evaluation Des Risques Sanitaires et Ecotoxicologiques Lies Aux Effluents Hospitaliers (Francia: 2004), p. 186.**

### 3.7 Tipos de desechos sólidos hospitalarios y manejo adecuado

Los desechos sólidos están relacionados con las aguas residuales del hospital, ya que cuando se almacenan se desprenden sustancias líquidas en forma concentrada que son dispuestas a los sistemas de alcantarillado.

Tabla III. Desechos sólidos hospitalarios y su segregación<sup>21</sup>

DESECHOS	ESTADO FÍSICO	ENVASE	COLOR Y SÍMBOLO
<b>COMUNES</b>	Sólidos	Bolsas de plástico	<b>NEGRO</b>
<b>INFECCIOSOS</b> (la sangre y cualquier desecho impregnado con sangre y secreciones, incluyendo los restos de comida provenientes de salas de aislamiento)	Sólidos Líquidos y sólidos que puedan drenar abundantes líquidos	Bolsas de plástico Recipientes herméticos colocados en bolsas plásticas	<b>ROJO</b> 
<b>PATOLÓGICOS</b> (Partes de cuerpos humanos, animales y fluidos)	Sólidos Líquidos y sólidos que puedan drenar abundantes líquidos	Bolsas de plástico Recipientes herméticos colocados en bolsas plásticas	<b>ROJO</b> 
<b>PUNZOCORTANTES</b> (Cualquier objeto punzocortante desechado)	Sólidos	Recipientes rígidos para punzocortantes colocados en bolsas plásticas	<b>ROJO</b> 
<b>QUÍMICOS</b> (Incluye los fármacos vencidos, cuando tengan características de peligrosidad, y la vestimenta contaminada con químicos)	Sólidos Líquidos	Doble bolsa de plástico cuando sus características lo permitan. Envases originales	<b>ROJO</b> Símbolo correspondiente al tipo de químico
<b>RADIOACTIVOS</b> (Incluye cualquier desecho contaminado con radionucleidos)	Sólidos Líquidos	Contenedores originales o envases que garanticen adecuada protección Contenedores que garanticen adecuada protección o dilución al desgüe	<b>ROJO/AMARILLO</b> 
<b>ESPECIALES</b>	Sólidos	Bolsas de plástico	<b>NEGRO</b>

<sup>21</sup> Fuente: Programa regional de desechos sólidos hospitalarios Convenio ALA 91/93, **Gestión operativa interna de los desechos sólidos; Modulo 3 (Guatemala: AGISA, 1995), apartado 2.1.4.**

## 4. GENERALIDADES DEL NOSOCOMIO

### 4.1 Descripción del Hospital General de Accidentes

- El Hospital General de Accidentes del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social opera desde 15 de abril de 1997 en el área física actual pero, anteriormente, estaba ubicado en la zona 13, sobre la calle auxiliar que va de la calle Montúfar a la avenida Castellana, donde ahora se encuentra ubicada la División de Mantenimiento del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.
- Tiene un área construcción de 22 177,49 metros cuadrados y cuenta con un área libre de 11 211,51 metros cuadrados.
- Se encuentra ubicado en la 13 avenida 1-51, calzada San Juan, zona 4 del municipio de Mixco, Colonia Monte Real.



Figura 3. Localización geográfica del hospital en estudio<sup>22</sup>

<sup>22</sup> Fuente: Instituto Geográfico Nacional, hoja cartográfica zona 7 de Guatemala.

- El número de personas que laboran en este centro médico es 1 325 personas, de las cuales 907 trabajadores se ocupan del área asistencial que contempla médicos, enfermeras, auxiliares laboratoristas, técnicos de radiología, entre otros.
- Atiende un número de consultas externas en promedio diario de 875 y el número promedio diario de hospitalizaciones es de 295.
- El número total de camas con que se cuenta para la hospitalización es de 319.
- El tipo de atención brindada por este nosocomio es especializada y correspondiente al área de traumatología, que incluye los servicios indicados en la tabla VI.

Tabla IV. Servicios hospital de accidentes<sup>23</sup>

1. Banco de sangre	15. Sala quirúrgica
2. Consulta externa	16. Farmacia
3. Urgencias	17. Cocina
4. Área de cirugías	18. Comedor
5. Recuperación	19. Lavandería
6. Área de intensivo	20. Servicio varios
7. Laboratorio de análisis clínico	21. Medicina preventiva
8. Laboratorio de microbiología	22. Trabajo social
9. Rayos X	23. Sección de mantenimiento
10. Ortopedia	24. Administración
11. Otorrinolaringología	25. Área de encamados mujeres
12. Oftalmología	26. Área de encamados hombres
13. Morgue	27. Área de encamados pediatría
14. Sala de aislamiento	

<sup>23</sup> Fuente: Julio Siliézar, **Información básica general de la unidad de servicio de atención de salud; sección de mantenimiento del Hospital General de Accidentes del IGSS (Guatemala: 2005).**

#### 4.2 Sistema de agua potable del Hospital General de Accidentes

Este centro médico se abastece de agua potable por medio de dos pozos que se ubican en el predio del mismo y que bombean el agua potable a un tanque de concreto semienterrado con una capacidad de abastecimiento de 1 142 metros cúbicos. El agua que sale de este tanque es desinfectada por medio de un sistema de cloro gas. Actualmente, el sistema de abastecimiento de agua potable no cuenta con un sistema de medición del consumo.

#### 4.3 Sistema de evacuación de aguas del Hospital General de Accidentes

El sistema de evacuación de aguas residuales del hospital está separado del sistema de evacuación de aguas pluviales en el interior del edificio y se combinan a partir del pozo PV17 el cual se ubica en la parte posterior del hospital.

En el interior del hospital el sistema de evacuación de aguas residuales posee tres ramales principales los cuales van a desfogar a los pozos 15 (punto No 1), 16 (punto No 2) y 17 (punto No 3 y 4), en este último pozo de registro es en donde las aguas residuales se unen con las aguas pluviales y van a dar al sistema de alcantarillado municipal. (Ver figura 7).

De las observaciones de campo y las revisiones de planos constructivos suministrados por la oficina de mantenimiento se encontró que el sistema de evacuación de aguas residuales cuenta con los registros de pisos respectivos para poder realizar limpiezas de tuberías en caso de taponamientos, adicionalmente, se cuenta con sifones en las descargas de fregaderos, lavamanos, piletas, baños y otros accesorios, de esta manera se impide que los malos olores se devuelvan hacia los puntos de descarga.

En las áreas húmedas como el servicio de nutrición (área de preparación de alimentos) se tienen acumulaciones de agua en algunas sitios en donde no hay drenajes de piso, ni existe una pendiente adecuada para que esas aguas puedan encausarse hacia

el drenaje más próximo. La acumulación de aguas en estas áreas húmedas pueden causar accidentes a los trabajadores.



Figura 4. Área húmeda; servicio de nutrición

Otro problema que se tiene en el servicio de nutrición es que el tubo de drenaje del área de lavado de carritos para el transporte de la comida es pequeño, comparado con el agua que se genera en la operación de lavado, esto ocasiona acumulación de agua superficial en el área de preparación de alimentos.

La trampa de grasas ubicada en esta misma área no realiza eficientemente su función y provoca taponamientos en la tubería, sin que se forme la nata de grasas en la parte superior y pueda ser retirada. El funcionamiento normal es que las grasas suban a la parte superior de la trampa de grasa y el agua salga de ésta sin grasa.

Actualmente, en esta trampa de grasas se dosifica una enzima para disolver las grasas.

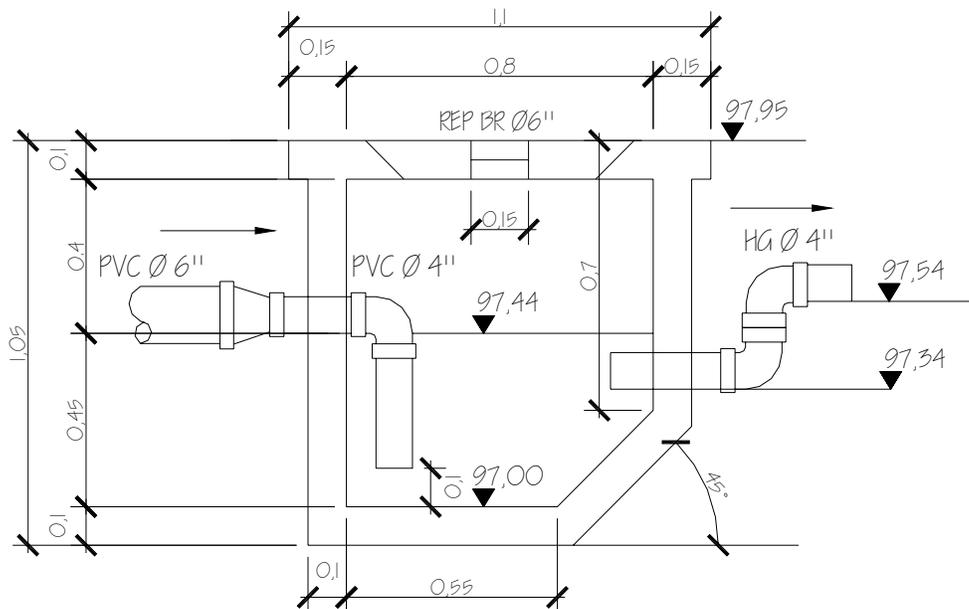


Figura 5. Detalle de trampa de grasas existente en el servicio de nutrición<sup>24</sup>

Con respecto a los pozos de registro se pudo constatar que, por su configuración misma, no permiten que se pueda bajar a ellos para realizar la limpieza.

Estos pozos permiten la sedimentación de sólidos en el fondo, debido a que la cota invert de la salida de agua de estos está de 20 a 40 cm por encima del nivel de fondo. El problema actual es que la remoción de estos sedimentos es difícil debido a que para realizar adecuadamente esta operación deberá desviarse las caídas de agua para que el operario pueda trabajar sin mojarse.

En el fondo de varios pozos de registro de aguas residuales se observaron precipitaciones del hipoclorito de calcio que es utilizado en el área de lavandería (ver figura 6).

<sup>24</sup> Referencia: División de Ingeniería y Mantenimiento Instituto Guatemalteco de Seguridad Social. **Planos drenaje sanitario – drenaje pluvial; sótano – Sector 1 (Guatemala: 1988), P. 3.**



Figura 6. Incrustaciones de residuos de hipoclorito de calcio en las paredes del pozo PV16

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 Procedimiento para la elaboración del estudio

1. Elaboración de croquis para ubicación del sistema de evacuación de aguas residuales del hospital.
2. Establecer la situación actual de la red de drenaje de aguas residuales y fijar los puntos de muestro.
3. Realizar la toma de muestras compuestas y el aforo asociado a cada muestra en cada uno de los puntos de toma de muestra. En cada punto de muestreo se tomaron las muestras con 15 recipientes de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad cada uno y en lapsos de tiempo de 30 minutos en un período de siete horas (De 6:45 am a 1:45 pm).
4. Determinar la carga contaminante de las aguas residuales que genera el Hospital General de Accidentes.
5. Con los resultados de los análisis fisicoquímico y bacteriológico de las aguas residuales generadas por el nosocomio, determinar valores promedios de parámetros de contaminación.
6. Comparar los parámetros físico químico y bacteriológico de las aguas residuales con los límites permisibles para la descarga de las aguas residuales a un colector de aguas municipales (reglamento de vertido de aguas residuales de Guatemala y Costa Rica).
7. Analizar los valores de los parámetros característicos de las aguas residuales domésticas con los valores obtenidos de la calidad del agua residual del hospital.
8. Interpretación de resultados, conclusiones y recomendaciones.
9. Con las características de las aguas residuales del Hospital General de Accidentes, seleccionar, diseñar y estimar el costo de un sistema de tratamiento apropiado para cumplir con lo establecido en las normas de calidad de aguas residuales por verter en un alcantarillado público.

## 5.2 Instrumentos

La toma de muestras se realizó de forma experimental con el equipo para toma de muestras marca ISCO, modelo 1 680, el cual es propiedad de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Este equipo no cuenta con el aditamento para medir el caudal ni tampoco mide el potencial de hidrógeno y temperatura del agua en el momento de toma de muestras.

Para la toma de muestras en el campo se utilizó un potenciómetro portátil (este equipo fue suministrado por el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina” de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala).

Adicionalmente, y cada vez que se realizó la toma de muestra, se estimó el caudal mediante aforo volumétrico en los pozos seleccionados y se colocó un vertedero triangular en uno de ellos.

## 5.3 Proceso de toma de muestras

La toma de muestras de las aguas residuales del Hospital General de Accidentes, se realizó en los pozos de registro generales y los puntos de muestreo se ubicaron tal y como se indica en la figura 7.

Punto No.1: corresponde a la descarga de una tubería en el pozo de registro PV15 al que llegan a dar las aguas residuales de las áreas de lavandería, comedor, cocina, morgue, almacén y, adicionalmente, se cuenta con una descarga de un baño que se ubica en la casa de máquinas.

Punto No.2: corresponde a la descarga de una tubería en el pozo de registro PV16 al que llegan a dar las aguas residuales de las áreas correspondientes a gimnasio, bodega,

laboratorios, banco de sangre, rayos x, intensivo, subcentral de equipos, ortopedia, vestidores, otorrinolaringología, administración, trabajo social, compras, encamamiento de mujeres, encamamiento de pediatría y encamamiento de hombres.

Punto No.3: corresponde a la descarga de una tubería en el pozo de registro PV17 al que son vertidas las aguas residuales de las áreas de emergencia, quirófanos, sala de recuperación, consulta externa, clínicas de especialidades y dos descargas de aguas pluviales.

Punto No.4: corresponde al agua residual ubicada en el fondo del pozo de registro PV17 en el que se mezclan todas las aguas residuales del Hospital de Accidentes.

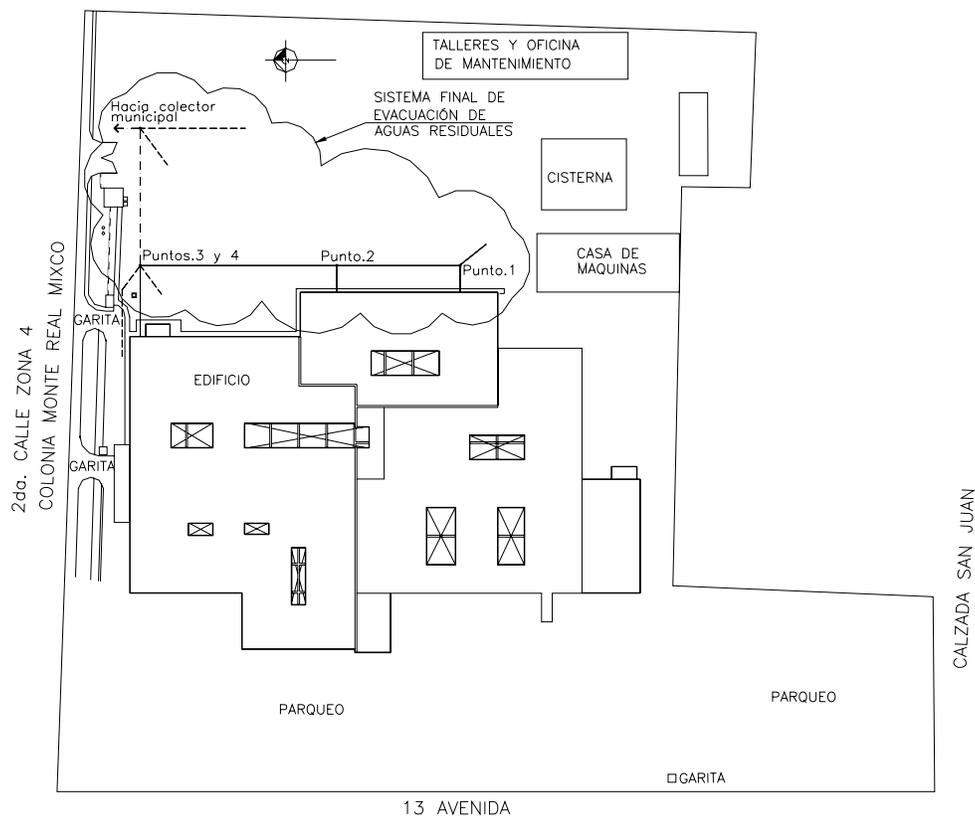


Figura 7 A. Ubicación general del sistema de evacuación de aguas residuales del Hospital General de Accidentes

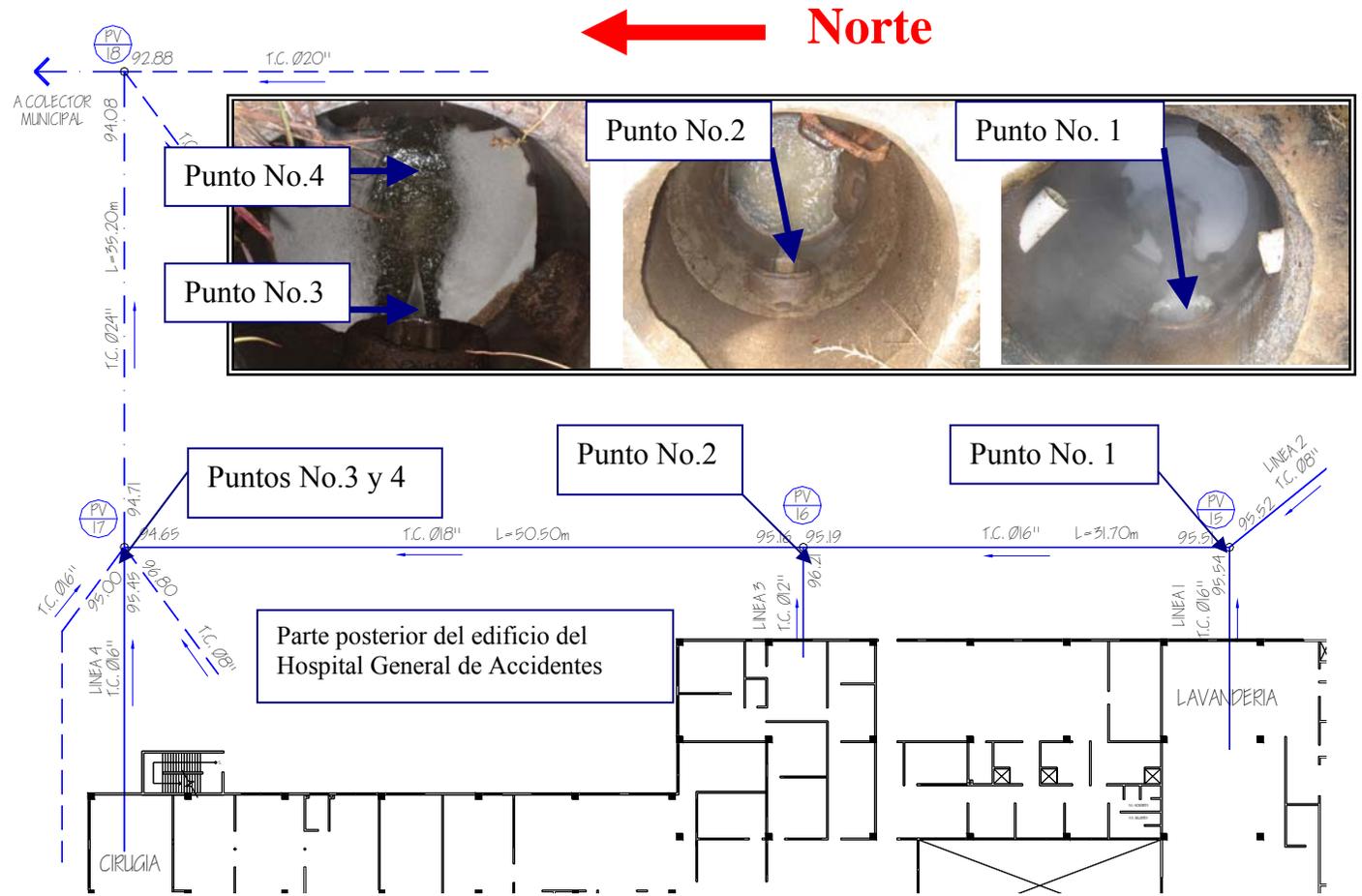


Figura 7 B. Localización de puntos de muestreo en pozos de descarga de aguas residuales del Hospital General de Accidentes<sup>25</sup>

<sup>25</sup> Fuente: Julio Siliézar, **Replanteamiento arquitectónico del hospital de accidentes; sección de mantenimiento del Hospital General de Accidentes del IGSS (Guatemala: 2005).**

Cada vez que se realizó la toma de muestras se estimó el caudal mediante aforo volumétrico en la caída de agua de cada uno de los pozos de registro donde se tomó la muestra (puntos No.1, 2 y 3). El caudal total del Hospital de Accidentes se estimó sumando el caudal volumétrico obtenido en el punto No.3 y la estimación del caudal haciendo uso de un vertedero triangular ubicado a la salida de las aguas residuales del pozo de registro PV16 (ver figura 7).

Se realizaron 19 muestras compuestas: 3 muestras tomadas en el punto No.1; 3 muestras tomadas en el punto No. 2; 3 en el punto No.3 y 10 en el punto No.4.

En cada punto de muestreo se tomaron las muestras con 15 recipientes de 500cm<sup>3</sup> de capacidad cada uno, esto se realizó cada 30 minutos en un período de siete horas (De 6:45am a 1:45pm). Cada vez que se tomaba la muestra se realizó un aforo y se llenaba uno de los recipientes, al mismo tiempo, se midió el potencial de hidrógeno y la temperatura del agua por medio de un potenciómetro de campo.

Una vez finalizado el período de la toma de muestras se procedió a tomar una porción de cada uno de los frascos de 500cm<sup>3</sup>, de muestras tomadas puntualmente y se procedió a mezclarlas para llenar un volumen total de un galón (3,785 litros),

Para estimar el volumen a tomar de cada una de las muestras puntuales se utilizó la siguiente fórmula:

$$V = \frac{Q_p * VM}{\sum_{Q_{p_i}}^{Q_{p_j}} Q_p * 1\,000}$$

Donde:

V= volumen por tomar de cada recipiente del equipo de toma de muestras, en centímetros cúbicos.

Qp = caudal que se midió cuando se tomó la muestra puntual, en litros por segundo.

VM = volumen total de muestra requerido para los análisis de laboratorio (3,785 litros).

Las muestras obtenidas en el campo, se preservaron en una hielera a  $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante todo el tiempo de muestreo hasta el traslado al laboratorio propiedad de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA), que corresponde al sitio donde se realizaron los análisis fisicoquímico y bacteriológico. La toma de muestras para el análisis bacteriológico se realizó en forma puntual cada tres horas.<sup>26</sup>

#### 5.4 Vertedero para medición del caudal

En el pozo PV16 se colocó un vertedero triangular para medir el caudal de las aguas residuales que salen de los puntos de muestreo No.1 y 2.



Figura 8. Vertedero triangular colocado en pozo PV16.

La fórmula para determinar el caudal en este vertedero<sup>27</sup>:

$$Q = (1,427 * (H/100)^{5/2}) * 1\ 000$$

Donde:

Q = caudal de agua residual pasando por el vertedero (l/s).

H = altura de agua sobre el vertedero (cm)

<sup>26</sup> Fuente: CEPIS, *Saneamiento ambiental en los servicios de atención de salud; metodología para la evaluación y diagnóstico de las condiciones sanitarias de las unidades de servicio de atención de salud* (Perú: 1992), p 7.

<sup>27</sup> Fuente: Sergio Rolím. *Sistemas de lagunas de estabilización*. (Colombia: McGraw-Hill, 2000 – Modificada para fines de esta investigación), p 188.

La capacidad total del vertedero es de 25,52 litros por segundo que equivalen a 2 205,53 metros cúbicos por día. La capacidad total del vertedero equivale a 1,85 veces la capacidad del tanque de almacenamiento que tiene el hospital (el volumen del cisterna es de 1 190 metros cúbicos).

### 5.5 Aforos volumétricos para medición del caudal

Los caudales de los puntos No.1, 2 y 3 fueron determinados mediante aforo volumétrico en base a la siguiente fórmula:

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

Donde:

Q: caudal estimado (l/s)

V: volumen del recipiente (l/s)

t: tiempo de llenado de la cubeta (s)



Figura 9. Aforo volumétrico por realizar en los puntos de toma de muestras No 1, 2 y 3 (ver figura 7).

## 5.6 Análisis estadístico para determinar el número de muestras

Con el propósito de determinar el número de muestras por tomar del hospital general, de conformidad con el método 1 060 B de los Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, se utilizaron las curvas de niveles de confianza establecidos a partir de la fórmula:  $N \geq (ts/U)^2$ ; donde, N es el número de muestras, t es la t de Student para un nivel de confianza determinado, s es la desviación estándar global y U es el nivel de confianza aceptable.

Con los valores de caudales promedios aritméticos diarios de los primeros cuatro muestreos se determinó la desviación estándar ( $s = 0,57$ ) y se fijó un nivel de confianza aceptable para la variación de los datos ( $U = 0,5$ ), relacionando los valores anteriores se tiene  $s/U = 1,14$ . Con este resultado se procede, en la figura 10, a interpolar en las curvas respectivas para un nivel de confianza del 95% y se obtiene que el número de muestras debe ser mayor o igual a 9. Finalmente, a partir del valor que se estimó para los efectos del presente estudio, el número de muestras es de 10 (ver figura 10).

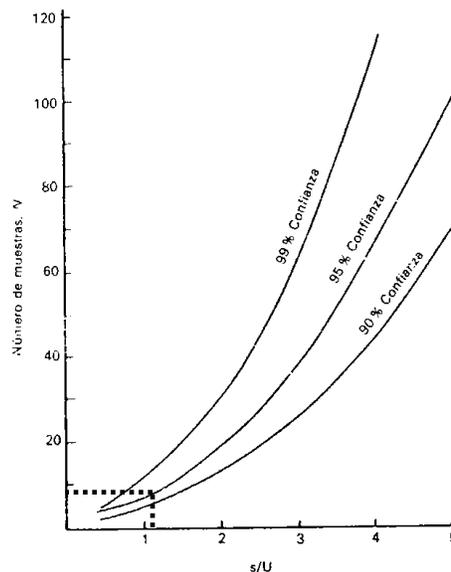


Figura 10. Gráfica para determinar número de muestras a diferentes niveles de confianza<sup>28</sup>

<sup>28</sup>Fuente: WPCF, APHA, AWWA. **Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales.** (Madrid: Ed Diaz Santos, 1992). p. 1-41.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Mediciones de caudal.

Se realizaron muestras compuestas en los cuatro puntos de muestreo seleccionados, midiendo en el sitio el caudal cada media hora. Los promedios de la descarga de aguas residuales obtenidas de los diez días de muestreo son los que se presentan en la Tabla V.

Tabla V. Caudal promedio de aguas residuales en varios puntos de descarga del hospital

CAUDAL PROMEDIO (l/s)*					
Punto No 1		Punto No 2	Punto N.3	Punto No 4	Nº CAMAS=319
Lavandería	Otros				m <sup>3</sup> /cama/d
3,99	0,04	1,10	0,80	5,92	1,60
67,36%	0,63%	18,53%	13,49%	100,00%	

\*Ver sección 6.3 y la figura 7.

En la figura 11 se presenta el comportamiento del caudal de agua potable consumido diariamente por el Hospital General de Accidentes en l/s en función del tiempo en horas.

En la figura 12 se presenta el comportamiento del caudal de aguas residuales del punto No. 4 en l/s, en función del tiempo de muestreo en horas.

Consumo de agua potable del Hospital General de Accidentes  
(Inicio de conteo; 8 de diciembre de 2005 a las 8:00 am)

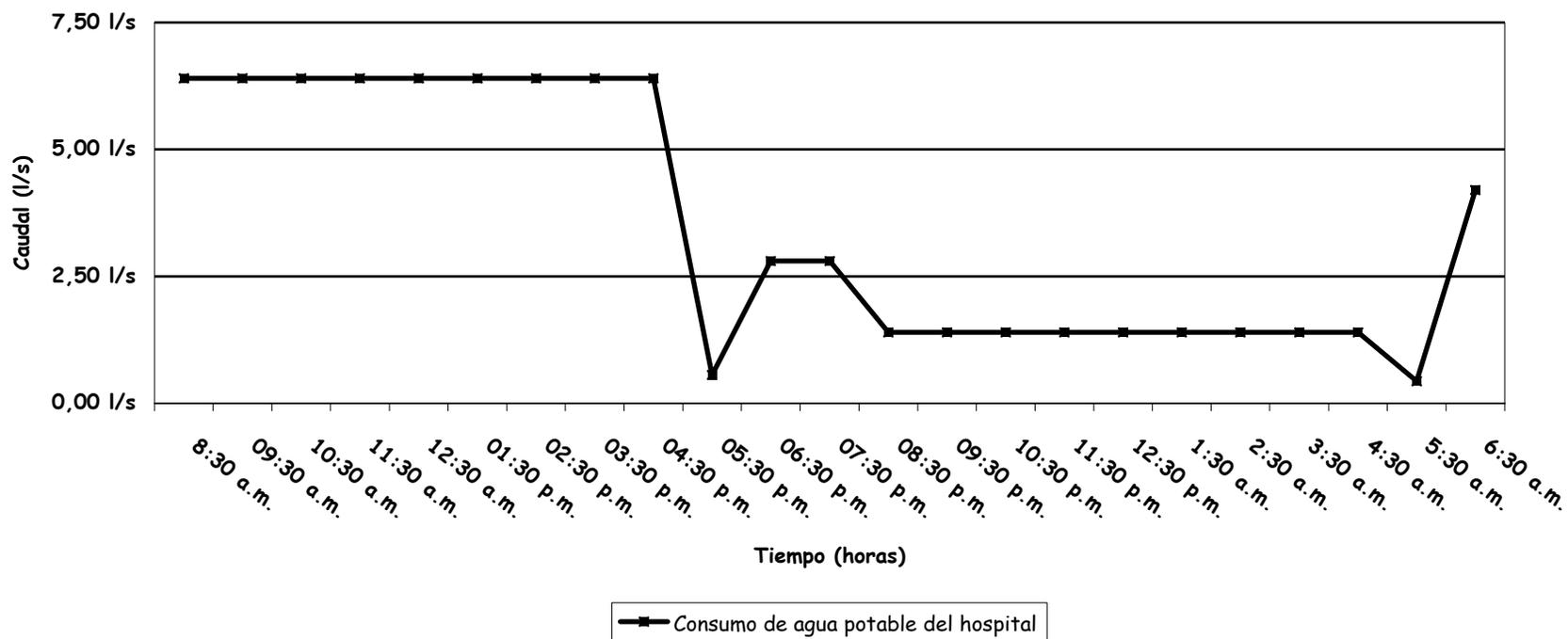


Figura 11. Gráfica de consumo de agua potable en el hospital<sup>29</sup>.  
(ver interpretación de resultados, sección 8.1)

<sup>29</sup> Fuente: Julio Siliézar, Mediciones de variaciones de nivel en el tanque de agua potable; sección de mantenimiento del Hospital General de Accidentes del IGSS (Guatemala: 2005).

Comportamiento del caudal en el tiempo; punto No.4

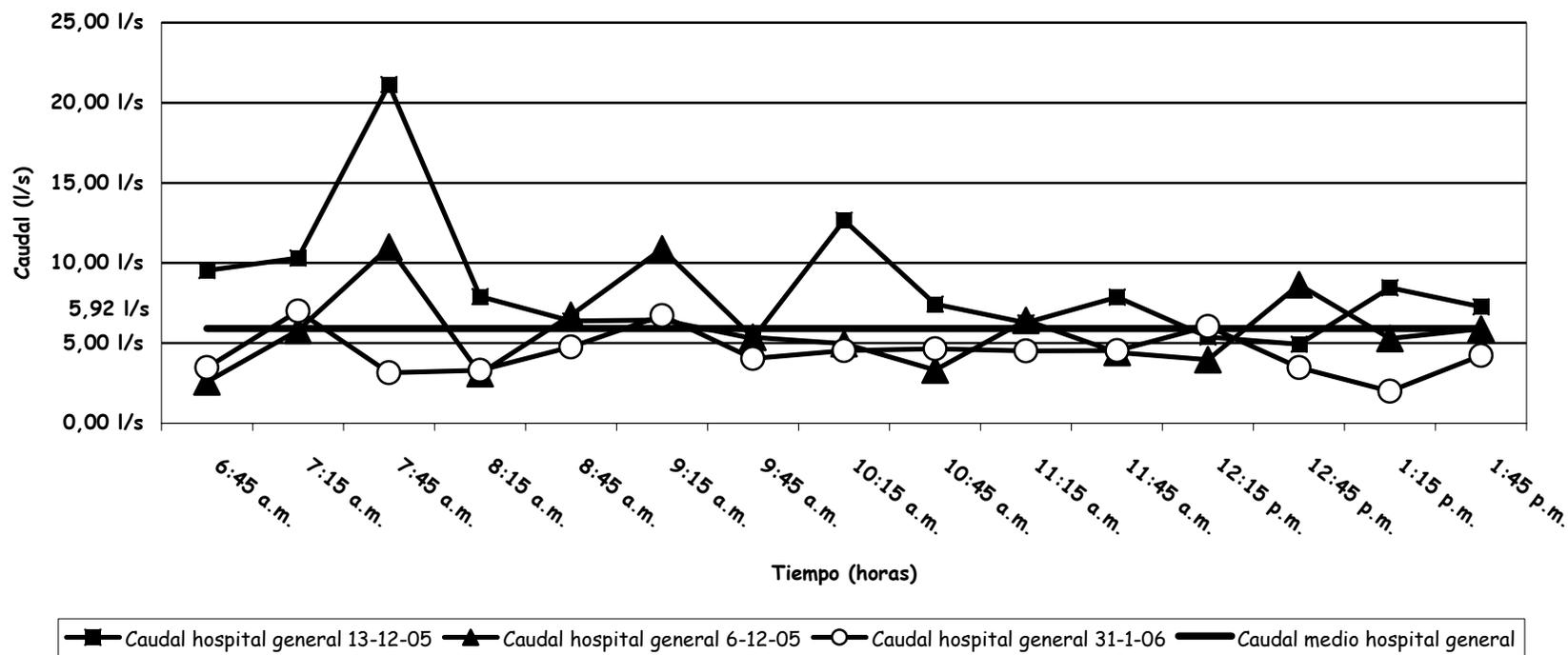


Figura 12. Gráfica del comportamiento horario del caudal de aguas residuales en el período de muestreo; punto No.4.  
(ver interpretación de resultados, sección 8.1)

6.2.Resultados de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos realizados en los puntos de muestreo.

En la Tabla VI se presentan los resultados de los promedios, valor máximo y mínimo de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras captadas en el punto No.1. Estos datos corresponden a tres muestras compuestas y los resultados por muestreo se muestran en el anexo No.5, tabla XXXV.

Tabla VI. Resultados de análisis fisicoquímicos en punto No.1

<b>Parámetro</b>	<b>U</b>	<b>Promedio</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
Potencial de hidrógeno (pH)		10,42	10,64	10,14
Temperatura	°C	36,74	38,33	35,35
Color	U	20,00	30,90	13,60
Sólidos suspendidos totales	mg/l	152,00	198,00	128,00
Sólidos sedimentables	ml/l	0,70	0,80	0,50
DQO	mg/l	360,67	400,00	330,00
DBO <sub>5</sub> (20 °C)	mg/l	153,33	180,00	120,00
Sustancias activas al azul de metileno (tensoactivos)	mg/l	3,38	3,50	3,24
Nitrógeno total	mg/l	4,50	5,60	3,40
Fósforo total	mg/l	0,16	0,22	0,05
Cianuros	mg/l		0,02	<0.002
Metales pesados				
Cobre	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02
Cromo	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01
Zinc	mg/l	0,21	0,42	0,03
Cadmio	mg/l	0,09	0,17	0,04
Níquel	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02
Plomo	mg/l	<0,10	<0,10	<0,10

En la tabla VII se presentan los resultados de los promedios, valor máximo y mínimo de los análisis bacteriológicos realizados a las muestras captadas en el Punto No.1. Estos datos corresponden a dos muestras simples realizadas cada uno de los tres días de muestreo (para un total de seis muestras) y los resultados por muestreo se presentan en el anexo No.5, tabla XXXVI.

Tabla VII. Resultados de análisis bacteriológicos en punto No.1.

Rango	pH	Temperatura °C	Coliformes totales NMP/100cm <sup>3</sup>	Promedio	Máximo	Mínimo
pH: 10 - 11 Temperatura: 24,00 - 25,80 °C	10,12	25,80	4x10 <sup>3</sup>	1 000x10 <sup>6</sup>	30x10 <sup>8</sup>	4x10 <sup>3</sup>
	10,80	27,00	460x10 <sup>3</sup>			
	10,98	24,00	30x10 <sup>8</sup>			
pH: 10 - 11 Temperatura: 44,40 - 50,00 °C	11,04	44,40	<3	90	<3	<3
	10,11	50,00	4			
	10,80	46,00	90			
Rango	pH	Temperatura °C	Coliformes fecales NMP/100cm <sup>3</sup>	Promedio	Máximo	Mínimo
pH: 10 - 11 Temperatura: 24,00 - 25,80 °C	10,12	25,80	4x10 <sup>3</sup>	500x10 <sup>6</sup>	15x10 <sup>8</sup>	4x10 <sup>3</sup>
	10,80	27,00	150x10 <sup>3</sup>			
	10,98	24,00	15x10 <sup>8</sup>			
pH: 10 - 11 Temperatura: 44,40 - 50,00 °C	11,04	44,40	<3	<3	<3	<3
	10,11	50,00	<3			
	10,80	46,00	<3			

En la Tabla VIII se presentan los resultados de los promedios, valor máximo y mínimo de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras captadas en el punto No.2. Estos datos corresponden a tres muestras compuestas y los resultados por muestreo se muestran en el anexo No.5, tabla No.XXXVII.

Tabla VIII. Resultados de análisis fisicoquímicos en punto No.2

Parámetro	U	Promedio	Máximo	Mínimo
Potencial de hidrógeno (pH)		8,06	8,14	7,98
Temperatura	°C	24,89	25,19	24,60
Color	U	33,65	46,80	20,50
Sólidos suspendidos totales	mg/l		522,00	284,00
Sólidos sedimentables	ml/l	2,00	2,00	2,00
DQO	mg/l	451,00	482,00	420,00
DBO <sub>5</sub> (20°C)	mg/l	258,50	287,00	230,00
Sustancias activas al azul de metileno (tensoactivos)	mg/l	4,92	5,23	4,60
Nitrógeno total	mg/l	52,00	56,00	48,00
Fósforo total	mg/l	9,55	9,80	9,30
Cianuros	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002
Metales pesados				
Cobre	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02
Cromo	mg/l	0,07	0,09	0,05
Zinc	mg/l	0,62	0,64	0,60
Cadmio	mg/l	0,10	0,14	0,07
Níquel	mg/l		0,11	<0,02
Plomo	mg/l	<0,10	<0,10	<0,10

En la tabla IX se presentan los resultados de los promedios, valor máximo y mínimo de los análisis bacteriológicos realizados a las muestras captadas en el punto No.2. Estos datos corresponden a dos muestras simples realizadas en cada uno de los tres días de muestreo (para un total de seis muestras) y los resultados por muestreo se muestran en el anexo No.5, tabla No.XXXVIII.

Tabla IX. Resultados de análisis bacteriológicos en punto No.2

Rango	pH	Temperatura °C	Coliformes totales NMP/100cm <sup>3</sup>	Promedio	Máximo	Mínimo
pH: 8 - 8,5 Temperatura: 23,20 - 25,70 °C	8,24	24,20	7x10 <sup>4</sup>	60x10 <sup>7</sup>	210x10 <sup>7</sup>	7x10 <sup>4</sup>
	8,52	25,70	75x10 <sup>5</sup>			
	8,18	23,90	1 100x10 <sup>5</sup>			
	8,93	23,20	28x10 <sup>6</sup>			
	8,22	24,50	75x10 <sup>7</sup>			
	8,47	24,90	210x10 <sup>7</sup>			
Rango	pH	Temperatura °C	Coliformes fecales NMP/100cm <sup>3</sup>	Promedio	Máximo	Mínimo
pH: 8 - 8,5 Temperatura: 23,20 - 25,70 °C	8,24	24,20	7x10 <sup>4</sup>	325x10 <sup>6</sup>	150x10 <sup>7</sup>	7x10 <sup>4</sup>
	8,93	23,20	21x10 <sup>5</sup>			
	8,52	25,70	75x10 <sup>5</sup>			
	8,18	23,90	1 100x10 <sup>5</sup>			
	8,22	24,50	7x10 <sup>6</sup>			
	8,47	24,90	150x10 <sup>7</sup>			

En la tabla X se presentan los resultados de los promedios, valor máximo y mínimo de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras captadas en el punto No.3. Estos datos corresponden a tres muestras compuestas y los resultados por muestreo se muestran en el anexo No.5, tabla No.XXXIX.

Tabla X. Resultados de análisis fisicoquímicos en punto No.3

<b>Parámetro</b>	<b>U</b>	<b>Promedio</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
Potencial de hidrógeno (pH)		8,54	8,57	8,52
Temperatura	°C	24,45	24,48	24,41
Color	U	37,50	48,60	26,40
Sólidos suspendidos totales	mg/l	391,00	474,00	308,00
Sólidos sedimentables	ml/l	0,55	1,00	0,10
DQO	mg/l	426,00	440,00	412,00
DBO <sub>5</sub> (20°C)	mg/l	275,00	300,00	250,00
Sustancias activas al azul de metileno (tensoactivos)	mg/l	3,40	3,85	2,95
Nitrógeno total	mg/l	66,00	76,00	56,00
Fósforo total	mg/l	2,90	3,20	2,60
Cianuros	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002
Metales pesados				
Cobre	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02
Cromo	mg/l	0,07	0,08	0,06
Zinc	mg/l	0,49	0,65	0,20
Cadmio	mg/l		0,17	<0,02
Níquel	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02
Plomo	mg/l	<0,10	<0,10	<0,10

En la tabla XI se presentan los resultados de los promedios, valor máximo y mínimo de los análisis bacteriológicos realizados a las muestras captadas en el punto No.3. Estos datos corresponden a un total de siete muestras simples realizadas en los días de muestreo y los resultados por muestreo se muestran en el anexo No.5, tabla No.XL.

Tabla XI. Resultados de análisis bacteriológicos en punto No.3

Rango	pH	Temperatura °C	Coliformes totales NMP/100cm <sup>3</sup>	Promedio	Máximo	Mínimo
pH: 7 - 9 Temperatura: 23,60 - 25,30 °C	8,87	24,70	240x10 <sup>6</sup>	<b>762x10<sup>7</sup></b>	<b>2 400x10<sup>7</sup></b>	<b>240x10<sup>6</sup></b>
	8,32	24,80	75x10 <sup>7</sup>			
	8,79	25,00	210x10 <sup>7</sup>			
	7,60	23,60	1 100x10 <sup>7</sup>			
	8,22	25,30	2 400x10 <sup>7</sup>			
pH: 9 - 11 Temperatura: 29,00 - 30,40 °C	10,37	30,40	15x10 <sup>4</sup>	<b>1 000x10<sup>6</sup></b>	<b>75x10<sup>8</sup></b>	<b>15x10<sup>4</sup></b>
	9,80	29,00	75x10 <sup>8</sup>			
Rango	pH	Temperatura °C	Coliformes fecales NMP/100cm <sup>3</sup>	Promedio	Máximo	Mínimo
pH: 7 - 9 Temperatura: 23,60 - 25,30 °C	8,87	24,70	75x10 <sup>5</sup>	<b>528x10<sup>7</sup></b>	<b>2 400x10<sup>7</sup></b>	<b>75x10<sup>5</sup></b>
	8,32	24,80	15x10 <sup>6</sup>			
	7,60	23,60	28x10 <sup>7</sup>			
	8,79	25,00	210x10 <sup>7</sup>			
	8,22	25,30	2 400x10 <sup>7</sup>			
pH: 9 - 11 Temperatura: 29,00 - 30,40 °C	10,37	30,40	15x10 <sup>4</sup>	<b>1 000x10<sup>6</sup></b>	<b>20x10<sup>8</sup></b>	<b>15x10<sup>4</sup></b>
	9,80	29,00	20x10 <sup>8</sup>			

En la Tabla XII se presentan los resultados de los promedios, valor máximo y mínimo de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras captadas en el punto No.4 que se comparan con los parámetros establecidos en los reglamentos de vertido para aguas residuales de Guatemala y Costa Rica. Estos datos corresponden a diez muestras compuestas y los resultados por muestreo se muestran en el anexo No.5, tabla No.XLI.

Tabla XII. Resultados de análisis fisicoquímicos en punto No.4

Parámetro	U	Promedio	Máximo	Mínimo	Reglamento Guatemala*	Reglamento Costa Rica
Potencial de hidrógeno (pH)		9,59	9,98	9,01	6 - 9	6 - 9
Temperatura	°C	29,07	29,91	27,75	<40	40
Color**	U	33,47	36,80	29,20	500,00	40,00
Sólidos suspendidos totales**	mg/l	267,20	308	214	200,00	500,00
Sólidos sedimentables	ml/l	1,42	4,50	0,30		1,00
Aceites y grasas	mg/l	0,38	0,86	0,13	60,00	100,00
DQO**	mg/l	567,30	602,00	535,00		1 000,00
DBO <sub>5</sub> (20°C)	mg/l	306,80	400,00	200,00	200,00	300,00
Sustancias activas al azul de metileno (tensoactivos)	mg/l	4,01	5,41	2,20		10,00
Nitrógeno total**	mg/l	35,84	39,20	33,60	40,00	40,00
Fósforo total**	mg/l	2,82	4,80	1,60	10,00	20,00
Cianuros	mg/l		0,039	<0,002	1,00	2,00
Metales pesados						
Cobre	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02	3,00	2,00
Cromo	mg/l		0,34	<0,01		2,50
Zinc	mg/l	0,48	0,97	0,11	10,00	10,00
Cadmio	mg/l	0,13	0,21	0,04	0,10	0,10
Níquel	mg/l		0,18	<0,02	2,00	2,00
Plomo	mg/l	<0,10	<0,10	<0,10	0,40	0,50

\* Los parámetros utilizados del reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos para Guatemala son los comprenden la fase 4 para el año 2024.

**\*\***Para la estimación de los valores promedios de estos parámetros se consideró lo siguiente:

Color: para establecer el promedio, se tomaron los valores en el rango 29,20 U a 36,80 U que corresponde al 90% de los resultados de los análisis realizados, el 10% restante se encuentra por encima de este rango.

Sólidos suspendidos totales: para establecer el promedio de los sólidos suspendidos totales, se tomaron los valores ubicados en un rango entre 214 mg/l y 308 mg/l que corresponde al 50% de los datos. De los datos restantes, el 30% son inferiores a este rango y el 20% se encuentran por encima de este rango.

Demanda química de oxígeno: para el análisis del promedio de la DQO se tomaron valores ubicados en un rango entre 535,00 mg/l y 602mg/l que corresponden al 70% de los datos, el 20% de los datos restantes se encuentran por debajo de este rango y el 10% por encima de éste.

Nitrógeno total: para establecer el promedio se tomaron los valores que se ubican en el rango 33,60 mg/l y 39,20 mg/l, que corresponden al 70% de los resultados de los análisis realizados y de los restantes el 10% de los resultados se ubica por debajo de este rango y el 20% por encima de éste.

Fósforo total: para determinar el promedio se tomaron los valores que se ubican en el rango 1,60 mg/l y 4,80 mg/l, que corresponde al 90% de los resultados de los análisis realizados, el 10% restante se ubica por encima de este rango.

En la tabla XIII se presentan los resultados de los promedios, valor máximo y mínimo de los análisis bacteriológicos realizados a las muestras captadas en el punto No.4 que se comparan con los parámetros establecidos en los reglamentos de vertido para aguas residuales de Guatemala y Costa Rica. Estos datos corresponden a un total de veintiún muestras simples realizadas en los días de muestreo y los resultados por muestreo se muestran en el anexo No.5, tablas No.XLII y XLIII.

Tabla XIII. Resultados de análisis bacteriológicos en punto No.4

Rango	pH	Temperatura °C	Coliformes totales NMP/100cm <sup>3</sup>	Promedio	Máximo	Mínimo	Reglamento Guatemala*	Reglamento Costa Rica
pH: 8 - 9 Temperatura: 21,40 - 32,20 °C	8,41	29,2	23x10 <sup>4</sup>	508x10 <sup>7</sup>	210x10 <sup>8</sup>	23x10 <sup>4</sup>		
	8,41	39	9x10 <sup>5</sup>					
	8,69	27	460x10 <sup>5</sup>					
	8,4	32,2	2 400x10 <sup>5</sup>					
	8,23	21,4	15x10 <sup>6</sup>					
	8,43	24,6	28x10 <sup>7</sup>					
	8,93	25,7	2 400x10 <sup>7</sup>					
	8,24	27,7	11x10 <sup>7</sup>					
pH: 9 - 10 Temperatura: 25,20 - 27,30 °C	8,12	23,7	210x10 <sup>8</sup>	127x10 <sup>8</sup>	43x10 <sup>9</sup>	43x10 <sup>6</sup>		
	9,85	26,70	43x10 <sup>6</sup>					
	9,52	25,20	460x10 <sup>7</sup>					
	9,60	27,30	30x10 <sup>8</sup>					
pH: 10 - 11 Temperatura: 24,50 - 30,60 °C	9,14	26,50	43x10 <sup>9</sup>	334x10 <sup>5</sup>	15x10 <sup>7</sup>	23x10 <sup>4</sup>		
	10,27	24,5	23x10 <sup>4</sup>					
	10,45	25	20x10 <sup>4</sup>					
	10,55	30,6	15x10 <sup>5</sup>					
	10,27	26,8	15x10 <sup>6</sup>					
pH: 10 - 11 Temperatura: 38 - 40 °C	10,18	26,6	15x10 <sup>7</sup>		90	4		
	10,00	40	4					
	10,59	40	90,00					
	10,70	38	90,00					

Rango	pH	Temperatura °C	Coliformes fecales NMP/100cm <sup>3</sup>	Promedio	Máximo	Mínimo	Reglamento Guatemala*	Reglamento Costa Rica
pH: 8 - 9 Temperatura: 21,40 - 32,20 °C	8,41	29,2	23x10 <sup>4</sup>	508x10 <sup>7</sup>	210x10 <sup>8</sup>	23x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>3</sup>
	8,41	39	9E+05					
	8,69	27	9x10 <sup>5</sup>					
	8,40	32,2	2 400x10 <sup>5</sup>					
	8,23	21,4	15x10 <sup>6</sup>					
	8,43	24,6	28x10 <sup>7</sup>					
	8,93	25,7	2 400x10 <sup>7</sup>					
	8,24	27,7	11x10 <sup>7</sup>					
pH: 9 - 10 Temperatura: 25,20 - 27,30 °C	8,12	23,7	210x10 <sup>8</sup>	45x10 <sup>8</sup>	15x10 <sup>9</sup>	43x10 <sup>6</sup>	1x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>3</sup>
	9,85	26,70	43x10 <sup>6</sup>					
	9,52	25,20	150x10 <sup>7</sup>					
	9,60	27,30	15x10 <sup>8</sup>					
pH: 10 - 11 Temperatura: 24,50 - 30,60 °C	9,14	26,50	15x10 <sup>9</sup>	822x10 <sup>4</sup>	4x10 <sup>7</sup>	7x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>3</sup>
	10,45	25	7x10 <sup>4</sup>					
	10,27	24,5	9x10 <sup>4</sup>					
	10,55	30,6	4x10 <sup>4</sup>					
	10,27	26,8	9x10 <sup>5</sup>					
pH: 10 - 11 Temperatura: 38 - 40 °C	10,18	26,6	4x10 <sup>7</sup>	<3	<3	<3	1x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>3</sup>
	10,00	40	<3					
	10,59	40	<3					
	10,70	38	<3					

\* Los parámetros utilizados del reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos para Guatemala son los comprenden la fase 4 para el año 2024.

En la figura No.13 se presenta el comportamiento de los coliformes totales y fecales de las aguas residuales de todos los puntos de muestreo en NMP/100cm<sup>3</sup> en función del potencial de hidrógeno determinado en la toma de la muestra en unidades pH.

Comportamiento de los coliformes totales y fecales en el tiempo; puntos No.1, No.2, No.3, y No.4

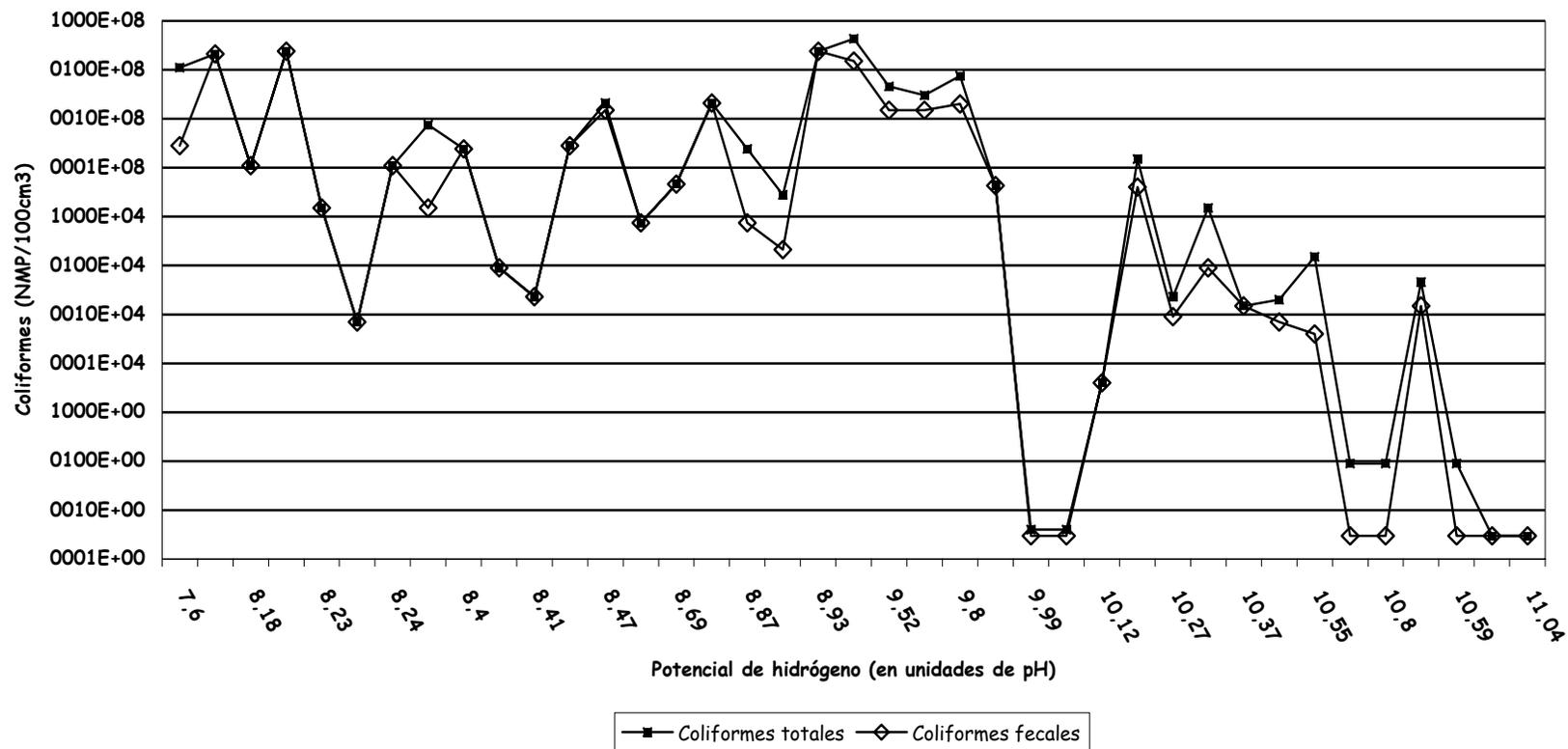


Figura 13. Gráfica del crecimiento bacteriano tomando en cuenta las variaciones de potencial de hidrógeno en el período de muestreo (1E+0X = 1x10<sup>X</sup>)  
(ver interpretación de resultados, sección 8.2)

### 6.3. Determinación del pH de las diferentes sustancias utilizadas en lavandería

Debido al incremento del pH encontrado en el punto No.4, se procedió a investigar el punto No.1 donde se encontraban los valores más altos de pH, para lo cual se hizo necesario conocer la forma en que se dosifican las sustancias involucradas en el lavado de la ropa utilizada por el Hospital, la proporción de las sustancias se hace de la siguiente forma:

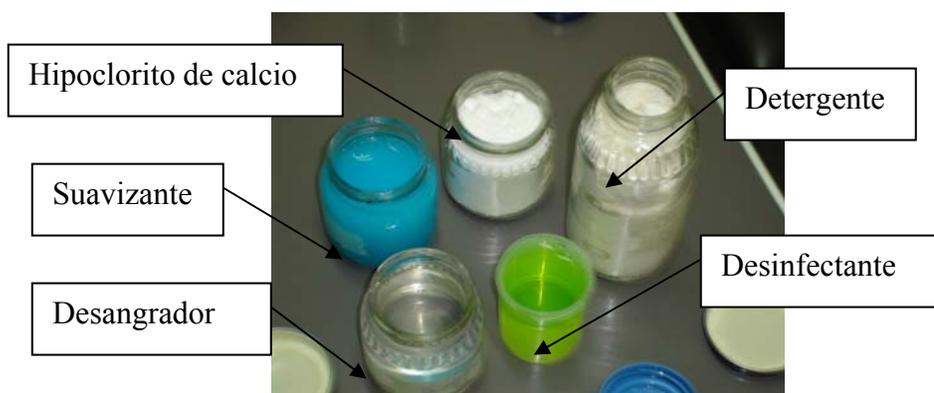


Figura 14. Sustancia químicas utilizadas para el lavado de ropa; lavandería<sup>30</sup>

Tabla XIV. Sustancias utilizadas en lavandería

No.	Sustancia	Dosificación utilizada en la lavandería		Dosificación para determinación de pH en laboratorio ERIS	
		Unidad	Cantidad	Unidad	Cantidad
1	Agua	l	450,00	cm <sup>3</sup>	297,20
2	Detergente (tipo industrial)	kg	5,44	g	0,60
3	Suavizante	l	7,6	cm <sup>3</sup>	5,00
4	Hipoclorito de calcio (al 30%)	kg	4,08	g	2,70
5	Desangrador	l	3,78	cm <sup>3</sup>	2,50
6	Desinfectante	l	7,60	cm <sup>3</sup>	5,00

<sup>30</sup> Fuente: Jefe del servicio de lavandería, Hospital General de Accidentes del IGSS (Guatemala: 2006)..

La determinación preliminar de la alcalinidad del detergente y el hipoclorito de calcio se hizo mediante la prueba a la fenoftaleína (se da cambio de coloración de la sustancia a color morado si es alcalina), posteriormente, se realizó la medida del pH de cada una de las sustancias utilizando un potenciómetro y, por último, se realizó una mezcla proporcional a la que se realiza en la lavandería, para determinar el pH de la misma la cual se hizo por medio de papel pH.

Tabla XV. Determinación del pH de las sustancias químicas utilizadas en lavandería

No.	Sustancia	Valor de pH	Prueba a la fenoftaleína
1	Agua destilada	6,98	
2	Detergente (tipo industrial)	4,03	(no cambia de color)
3	Suavizante	8,01	
4	Hipoclorito de calcio (al 30%)	10,50	(vira a color morado) básico
5	Desangrasador	12,09	
6	Desinfectante	6,99	
7	Agua destilada + detergente + suavizante + hipoclorito de calcio + desangrasador + desinfectante	> 10	

Se investigó acerca del nombre de las sustancias químicas utilizadas en el área de lavandería, pero no fue posible conocer el nombre comercial ni la formulación de éstas debido a que los recipientes en donde vienen estas sustancias no están etiquetados y la parte administrativa del hospital ha indicado que se adquieren como detergente, suavizante, desangrasador y desinfectante de tipo industrial.

#### 6.4. Relación DBO<sub>5</sub>/DQO y carga contaminante.

En la tabla XVI se presenta una comparación de los valores promedio de la relación DBO<sub>5</sub>/DQO en los diferentes puntos de muestreo contra parámetros establecidos en la literatura para establecer la biodegradabilidad del agua residual.

Tabla XVI. Relación DBO<sub>5</sub>/DQO para determinar la biodegradabilidad del agua residual

Punto de muestreo	Promedio	Máximo	Mínimo	DBO <sub>5</sub> /DQO	Biodegradabilidad del agua residual <sup>31</sup>
Punto No. 1	0,43	0,51	0,30	< 0,20	Poco biodegradable
Punto No. 2	0,58	0,68	0,48		
Punto No. 3	0,64	0,68	0,61	0,20 – 0,40	Biodegradable
Punto No. 4	0,54	0,66	0,37		
				> 0,40	Muy biodegradable

<sup>31</sup> Fuente: Zenón Much. **Química y microbiología sanitaria; “Teoría biológica”** (Curso de maestría en ingeniería sanitaria, Guatemala: ERIS – USAC, 2005), p.4.

En la tabla XVII se presenta una comparación de los valores promedio de los análisis realizados en el punto No.4 contra los datos de una concentración de agua residual doméstica según Metcalf & Eddy.

Tabla XVII. Comparación de los valores promedio de los análisis realizados en el punto No.4 contra los datos de una concentración de agua residual doméstica según Metcalf & Eddy.

Contaminantes	U	Promedio de resultados en punto No.4	Concentración agua residual domestica según Metcalf & Eddy <sup>32</sup>		
			Débil	Media	Fuerte
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	267,20	100	220	350
Sólidos sedimentables	ml/l	1,42	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno 5 días a 20 °C; DBO <sub>5</sub> (20 °C)	mg/l	306,80	110	220	400
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	567,30	250	500	1 000
Nitrógeno (total en forma N)	mg/l	35,84	20	40	85
Fósforo (total en forma P)	mg/l	2,82	4	8	15
Grasa	mg/l	0,383	50	100	150
Coliformes totales para muestras con pH entre 8 – 9	NMP/100cm <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>9</sup>
Coliformes fecales para muestras con pH entre 8 – 9	NMP/100cm <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>9</sup>

En la tabla XVIII se presenta una comparación de la carga contaminante promedio generada por el Hospital General de Accidentes contra los valores teóricos de diversos parámetros de aguas residuales domésticas.

<sup>32</sup> Fuente: Metcalf & Eddy. **Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización.** (3 ed. México: McGraw-Hill, 1996), p 125.

Tabla XVIII. Carga contaminante promedio del Hospital General de Accidentes y comparación con los parámetros de los valores teóricos de las aguas residuales domésticas.

Descripción	unidad	Hospital General de Accidentes	Parámetro de comparación
		Cantidad	Intervalo
Población promedio diaria del hospital	nº personas	2 495	
Área de construcción del nosocomio	m <sup>2</sup>	22 177,49	
Número de camas		319	
Caudal equivalente por habitante	l/habitante/d	204,88	170 - 255 <sup>33</sup>
Caudal por cama	l/cama/d	1 602,42	468,4 – 979,9 <sup>34</sup>
DBO <sub>5</sub> (20 °C)	kg/habitante/d	0,063	0,045 - 0,054 <sup>35</sup>
	kg/cama/d	0,492	
DQO	kg/habitante/d	0,116	0,086 - 0,103 <sup>32</sup>
	kg/cama/d	0,910	
Sólidos en suspensión	kg/habitante/d	0,055	0,070 - 0,145 <sup>32</sup>
	kg/cama/d	0,428	
Grasas y aceites	kg/cama/d	0,001	
Sustancias activas al azul de metileno (Tensoactivos)	kg/habitante/d	0,001	
	kg/cama/d	0,006	
Nitrógeno total	kg/habitante/d	0,007	0,005 - 0,012 <sup>32</sup>
	kg/cama/d	0,058	
Fósforo total	kg/cama/d	0,0045	
Coliformes fecales para muestras con pH entre 8 - 9	NMP/100cm <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>9</sup> <sup>32</sup>

Nota: la población promedio diaria del Hospital General de Accidentes, corresponde a la cantidad del personal médico y administrativo y al valor promedio de pacientes hospitalizados y atendidos diariamente.

<sup>33</sup> Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. “Normas de diseño y construcción, para urbanizaciones y fraccionamientos” (Normas AyA, Costa Rica: AyA, 2003), p 15.

<sup>34</sup> Fuente: Jorge R. de Armas. “Variaciones del caudal y consumos de agua relativos a una cama en el hospital Abel Santamaría en Pinar del Río, Cuba” (Cuba: 2002), p 23.

<sup>35</sup> Fuente: Adán Pocasangre. Procesos de tratamiento de aguas residuales; “caracterización de aguas residuales” (Curso de maestría en ingeniería sanitaria, Guatemala: ERIS – USAC, 2005), p 25.



## **7. SELECCIÓN DE OPCION Y DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES**

### 7.1. Selección de opción de tratamiento

Se utilizó una matriz de selección para el análisis de las distintas alternativas de tratamiento de aguas residuales que incluye una evaluación técnica, económica, ambiental y social que fueron propuestas por varios autores.

La matriz contiene diversos criterios que se encuentran ordenados en tres categorías: criterios generales, sub-criterios y factores. La puntuación se asignó con valores en la escala de 1 a 10, tomando 1 como la peor alternativa y 10 como la mejor alternativa. La puntuación 0 se asignará cuando el criterio a evaluar se considere inapropiado para el hospital. Al mismo tiempo se le asigna un peso a todos los criterios económicos, ambientales, sociales y técnicos para luego ponderar los resultados. El peso que se le asigna a los criterios dependerá de la experiencia y objetividad del consultor o profesional.

Debido al origen del agua residual es imprescindible el tratamiento de desinfección por el contenido de microorganismos patógenos que puedan estar presentes en las descargas.

#### 7.1.1. Criterios de selección

- Criterios económicos:

Costo de construcción: este sub-criterio representa un punto determinante para la selección final de un sistema de tratamiento, ya que corresponde a la inversión que la organización o institución requerirá asignar al tratamiento de las aguas residuales. En la tabla XIX se presentan los parámetros de selección de tratamiento con el sub-criterio de costo de construcción.

Tabla XIX. Parámetros selección con sub-criterio de costo de construcción<sup>36</sup>

Tratamiento	Población	\$/habitante	Total \$	Criterio de selección
Tanque séptico	2 495	-	-	-
Tanque Imhoff	2 495	-	-	-
RAFA + filtro aerobio	2 495	35	87 325	6
RAFA + filtro anaerobio	2 495	30	74 850	7
Lagunas facultativas	2 495	20	49 900	10
Lodos activados	2 495	40	99 800	5

Costo de operación y mantenimiento: está en función del costo que pagaría cada individuo anualmente para el mantenimiento y la operación del sistema de tratamiento. En la tabla XX se presentan los parámetros de selección de tratamiento con el sub-criterio costo de operación y mantenimiento.

Tabla XX. Parámetros selección tratamiento con sub-criterio costo operación y mantenimiento<sup>37</sup>

Tratamiento	Población	\$/habitante	Total \$	Criterio de Selección
Tanque séptico	2 495	-	-	-
Tanque Imhoff	2 495	-	-	-
RAFA + filtro aerobio	2 495	5	12 475	7
RAFA + filtro anaerobio	2 495	5	12 475	8
Lagunas facultativas	2 495	3	7 485	10
Lodos activados	2 495	18	44 910	5

- Criterios sociales:

Molestias de olores: en este sub-criterio se evaluó los efectos adversos que podrían provocarse al ambiente con la implementación de un sistema de tratamiento determinado en un área determinada.

<sup>36</sup> Fuente: Gunther Carranza. **Selección apropiada de tecnologías de tratamiento para aguas residuales domésticas (Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 1997 – modificada para fines de esta investigación), p. 175.**

<sup>37</sup> Fuente: Gunther Carranza. **Selección apropiada de tecnologías de tratamiento para aguas residuales domésticas (Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 1997 – modificada para fines de esta investigación), p. 176.**

Molestias de ruidos: en este sub-criterio se tomó en cuenta el ruido provocado por la operación del equipo mecánico necesario utilizado en el tratamiento.

Molestias de insectos: en este sub-criterio se evaluó la posibilidad de molestias generadas por vectores en el área cercana a la ubicación del sistema de tratamiento.

Riesgos a la salud: se evaluó los posibles efectos o consecuencias en la salud que se podrían generar por un sistema de tratamiento.

En la tabla XXI se presentan los parámetros de selección de tratamiento para el sub-criterio social y ambiental.

Tabla XXI. Parámetros selección tratamiento con sub-criterio social y ambiental<sup>38</sup>

Tratamiento	Criterio de selección					
	Olores	Ruidos	Insectos	Integración al entorno	Riesgos a la salud	Efectos al suelo
Problema inexistente	10	10	10			
Problema atípico	7	7	7			
Problema normal	5	5	5			
Problema frecuente	1	1	1			
Bueno				10		
Normal				5		
Malo				1		
Alto					1	
Medio					5	
Bajo					10	
Problema normal						1
Medio						5
Bajo						7
Problema inexistente						10

<sup>38</sup>Fuente: Gunther Carranza. **Selección apropiada de tecnologías de tratamiento para aguas residuales domésticas (Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 1997 – modificada para fines de esta investigación), p. 181.**

- Criterios ambientales:

Integración de entorno: en este sub-criterio se evaluó la percepción visual del ambiente ante la construcción de cada sistema de tratamiento.

Efectos en el terreno: en este sub-criterio se tomó en cuenta los posibles problemas que se puedan ocasionar en el terreno cuando se construya cualquiera de las opciones de tratamiento. Como por ejemplo deslizamientos, socavaciones, erosión, etc.

- Criterios Técnicos:

Rango de aplicación: en este sub-criterio se tomó en cuenta la población hospitalaria que se van a servir. En la tabla XXII se presentan los parámetros de selección de tratamiento para el sub-criterio de rango de aplicación utilizado en la matriz de selección.

Tabla XXII. Parámetros selección tratamiento con sub-criterio de rango de aplicación<sup>39</sup>

<b>Rango de aplicación:</b>	<b>Criterio de selección</b>
Sin aplicación	1
Limite	5
Aceptable	8
Optimo	10

En este estudio se utilizó una población equivalente a 2 495 personas, que corresponde al 100% de la población total del hospital.

---

<sup>39</sup>Fuente: Gunther Carranza. **Selección apropiada de tecnologías de tratamiento para aguas residuales domésticas (Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 1997 – modificada para fines de esta investigación), p. 170.**

Simplicidad de construcción: en términos de costos un sistema puede ser técnicamente adecuado pero económicamente inviable. Este sub-criterio está relacionado con la simplicidad o complejidad de implementar un sistema de tratamiento en función del movimiento de tierras, la obra civil y el equipo necesario para su funcionamiento. En la tabla XXIII se presentan los parámetros de selección de tratamiento para el sub-criterio de simplicidad de construcción.

Tabla XXIII. Criterio selección de tratamientos con sub-criterio de simplicidad de construcción<sup>40</sup>

<b>Simplicidad de construcción</b>	<b>Movimiento de tierra</b>	<b>Obra civil</b>	<b>Equipo</b>	<b>Criterio de selección</b>
Tanque séptico	10	10	10	10
Tanque Imhoff	4	1	10	5
RAFA+ filtro aerobio	4	1	10	5
RAFA+ filtro anaerobio	4	1	10	5
Lagunas facultativas	1	10	10	7
Lodos activados	10	1	1	4

Muy simple = 10

Simple = 7

Complicado = 4

Muy complicado = 1

Superficie necesaria: en este sub-criterio se evaluó el requerimiento de área necesario para cada tecnología. En la tabla XXIV se presentan los parámetros de selección de tratamiento para el sub-criterio de superficie necesaria.

<sup>40</sup> Fuente: Gunther Carranza. **Selección apropiada de tecnologías de tratamiento para aguas residuales domésticas (Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 1997 – modificada para fines de esta investigación), p. 172.**

Tabla XXIV. Criterio de selección de tratamientos con sub-criterio de superficie necesaria<sup>41</sup>

Tratamiento	Población	Área requerida (m <sup>2</sup> /habitante)	Área promedio requerida (m <sup>2</sup> )	Criterio de selección
Tanque séptico	2 495	-	-	-
Tanque Imhoff	2 495	-	-	-
RAFA + filtro aerobio	2 495	0,70	1 746,5	8
RAFA + filtro anaerobio	2 495	0,80	1 996,0	7
Lagunas facultativas	2 495	5	12 475,0	1
Lodos activados	2 495	0,3	748,5	10

Mantenimiento y operación: este sub-criterio está relacionado con la evaluación de la simplicidad de funcionamiento, la necesidad de personal y la frecuencia de control de los tratamientos. En la tabla XXV se presentan los parámetros de selección de tratamiento para el sub-criterio de operación y mantenimiento.

Tabla XXV. Criterio de selección de tratamientos con sub-criterio de simplicidad de operación y mantenimiento<sup>42</sup>

Criterio	Simplicidad de funcionamiento	Necesidad de personal	Frecuencia en el control	Criterio de selección
Tanque séptico	10	10	10	10
Tanque Imhoff	7	10	10	9
RAFA+ filtro aerobio	4	4	5	4
RAFA+ filtro anaerobio	4	4	5	4
Lagunas facultativas	10	10	10	10
Lodos activados	1	1	1	1

<sup>41</sup> Fuente: Gunther Carranza. Selección apropiada de tecnologías de tratamiento para aguas residuales domésticas (Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 1997 – modificada para fines de esta investigación), p 171.

<sup>42</sup> Fuente: *Ibidem*. pp 173 – 174.

Rango de aplicación	Criterio de selección		
	Simplicidad de funcionamiento	Necesidad de personal	Frecuencia en el control
Muy simple	10		
Simple	7		
Complicado	4		
Muy complicado	1		
Poco calificado		10	
Regular		7	
Calificado		4	
Muy calificado		1	
Poco frecuente			10
Frecuente			5
Muy frecuente			1

Eficiencia de remoción: en este sub-criterio se evaluó el elemento de la calidad final del efluente para cada sistema de tratamiento. En la tabla XXVI se presentan los parámetros de selección de tratamiento para el sub-criterio de eficiencia de remoción.

Tabla XXVI. Parámetros para selección de tratamientos con el sub-criterio de eficiencia de remoción<sup>43</sup>

Tratamiento	Sólidos sedimentables	DBO <sub>5</sub>	Patógenos	Sólidos suspendidos	Nutrientes
Primarios					
Fosa séptica	40 - 60%	50%	10 - 15%	-	-
Imhoff	50 - 60%	50%	5 - 15%	-	-
Sedimentador + digestor	50 - 60%	50%	10 - 15%	-	-
RAFA	40 - 60%	50%	10 - 15%	0 - 5%	-
RAP	50 - 60%	50%	10 - 15%	0 - 10%	-
Lagunas anaerobias	50 - 80%	60%	30 - 40%	-	-
Lagunas facultativas	60 - 90%	80%	40 - 90%	-	-
Secundarios (después de primarios)					
Filtros percoladores + sedimentador	90 - 100%	85%	20 - 30%	40 - 60%	5%
Lodos activados + sedimentador	90 - 100%	85%	30 - 40%	50 - 70%	5%
Lodos activados Ava. + sedimentador	90 - 100%	85%	30 - 40%	60 - 75%	10 - 30%
Zanjas de oxidación	80 - 100%	80%	20 - 30%	40 - 70%	-
Filtros biológicos	80 - 100%	80%	30 - 40%	50 - 70%	10 - 30%
Irrigación superficial	-100%	90%	60 - 90%	90 - 99%	10 - 70%
Irrigación subsuelo	-100%	95%	90 - 99%	90 - 99%	10 - 80%
Infiltración suelo	-100%	95%	70 - 99%	50 - 99%	0 - 80%
Lagunas aeróbicas	95 - 100%	95%	50 - 99%	-	-
Filtración en arena	95 - 100%	95%	50 - 99%	40 - 70%	-
Adición cloración			95 - 99%		
Terciarios (usualmente después de secundarios)					
Coagulación					50 - 99%
Zeolitas					50 - 90%
Intercambio de lones					80 - 99%

Estabilidad: se refiere a la eficiencia que un sistema de tratamiento soporta frente a variaciones de carga, temperatura, pH, caudal, etc. En la tabla XXVII se presentan los parámetros de selección de tratamiento para el sub-criterio de estabilidad utilizado en la matriz de selección.

<sup>43</sup> Fuente: Adán Pocasangre. *Procesos de tratamiento de aguas residuales; "Tipos de tratamiento aguas residuales"* (Curso de maestría en ingeniería sanitaria, Guatemala: ERIS – USAC, 2005), p.11.

Tabla XXVII. Parámetros para el criterio de selección de tratamientos con el sub-criterio de estabilidad<sup>44</sup>

Cambio sensible de carga y caudal	Criterio de selección
Muy sensible	1
Sensible	5
Poco sensible	10

Producción de lodos: en este sub-criterio se evaluó la cantidad de lodos producida en diversos tratamientos, con base a la cantidad y manipulación de éstos. En la Tabla XXVIII se presentan los parámetros de selección de tratamiento para el sub-criterio de producción de lodo.

Tabla XXVIII. Parámetros para el criterio de selección de tratamientos con el sub-criterio de producción de lodo<sup>45</sup>

Tratamiento	Producción de lodo (l/m <sup>3</sup> de agua residual)	Criterio de selección
Tanque séptico	0,9 – 2,0	10
Tanque Imhoff	1,5 – 2,0	4
RAFA + filtro aerobio	45 – 60 Kg SS / m <sup>3</sup> de AR	7
RAFA + filtro anaerobio	50 – 70 Kg SS / m <sup>3</sup> de AR	5
Lagunas facultativas	1,2 – 1,6	10
Lodos activados	3,7	1

Después del análisis con cada uno de los sub-criterios y la asignación de una ponderación se obtuvo la tabla XXIX y se determinó que el tratamiento de lodos activados es el adecuado para las condiciones actuales del Hospital General de Accidentes.

<sup>44</sup>Fuente: Gunther Carranza. **Selección apropiada de tecnologías de tratamiento para aguas residuales domésticas (Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 1997 – modificada para fines de esta investigación), pp. 178 - 179.**

<sup>45</sup>Fuente: **Ibidem. p. 182.**

Tabla XXIX. Selección de opciones de tratamiento de aguas residuales<sup>46</sup>

	Tanque séptico + zanja o pozo	Tanque Imhoff + zanja o pozo	RAFA + filtros aerobios	RAFA + filtros anaerobios	Laguna facultativa	Lodos activados	Peso relativo
<b>Criterios económicos</b>							<b>26,00%</b>
Costo de construcción			7,00	6,00	10,00	5,00	17,00%
Costo de operación y mantenimiento			8,00	7,00	10,00	5,00	9,00%
<b>Criterios sociales</b>							<b>26,00%</b>
Molestia por olores	1,00	1,00	5,00	5,00	10,00	7,00	1,00%
Molestia por ruidos	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	1,00	3,00%
Molestia por insectos	7,00	7,00	10,00	10,00	5,00	10,00	12,00%
Riesgos a la salud pública	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00	10,00	10,00%
<b>Criterios ambientales</b>							<b>14,00%</b>
Integración de entorno	10,00	10,00	5,00	5,00	5,00	1,00	8,00%
Efectos en terreno	7,00	5,00	5,00	5,00	7,00	10,00	6,00%
<b>Criterios técnicos</b>							<b>34,00%</b>
Rango de aplicación	5,00	10,00	5,00	5,00	10,00	10,00	1,00%
Simplicidad de construcción	10,00	5,00	5,00	5,00	7,00	4,00	4,00%
Superficie necesaria			8,00	7,00	1,00	10,00	17,00%
Mantenimiento y operación	10,00	9,00	1,00	4,00	10,00	1,00	1,00%
Eficiencia de remoción	1,00	3,00	7,00	8,00	9,00	10,00	6,00%
Estabilidad	10,00	10,00	1,00	5,00	10,00	5,00	3,00%
Producción de lodos	10,00	4,00	7,00	5,00	10,00	1,00	2,00%
<b>Puntaje total</b>	<b>3,58</b>	<b>3,30</b>	<b>6,50</b>	<b>6,21</b>	<b>6,61</b>	<b>7,02</b>	<b>100,00%</b>

1: indica la peor opción de tratamiento; 10: indica la mejor opción de tratamiento; 0: indica que no se toma en cuenta para el análisis de opciones en esta investigación particular. Todas las opciones de tratamiento incluyen desinfección al final de los procesos propuestos.

<sup>46</sup> Fuente: Gunther Carranza. Selección apropiada de tecnologías de tratamiento para aguas residuales domésticas (Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 1997 – modificada para fines de esta investigación), p. 183.

En la tabla XXIX, para la estimación de los pesos relativos se asignó un valor de 34% al criterio técnico en cuanto a la selección del sistema de tratamiento haciendo énfasis en la superficie necesaria (ya que el hospital cuenta con un área limitada) y la eficiencia de remoción. A los criterios sociales se les asignó un valor de 26% debido a que un sistema de tratamiento no debería ocasionar problemas de vectores ni riesgos a la salud pública. El criterio económico tiene una ponderación igual al criterio social debido, a que la institución cuenta con recursos limitados para la inversión del sistema de tratamiento. Con base a los criterios ambientales considerados se asumió que los efectos que podrían causar la integración del entorno y los efectos en el terreno pueden ser controlados en el proceso de construcción.

## 7.2. Diseño de planta de tratamiento

### 7.2.2. Selección y ubicación de la planta de tratamiento

Con base en la tabla XXIX, y después de realizar la preselección y asignación de los pesos a los criterios de selección, se calificó a las alternativas de óptima a menos viable, obteniéndose: para lodos activados (aireación extendida) = 7,02; RAFA + filtro aerobio = 6,50; RAFA + filtro anaeróbico = 6,21; laguna facultativa = 6,61; tanque séptico + zanja o pozo = 3,58 y tanque Imhoff + zanja o pozo = 3,30.

### 7.2.3. Proceso de pretratamiento en área de lavandería

En la descarga de las aguas de lavandería es necesario realizar un pretratamiento para modificar el potencial de hidrógeno a un rango aceptable en el proceso de tratamiento biológico de lodos activados. El diseño de este pretratamiento podrá variar si se realizan modificaciones en el proceso de lavado, principalmente, con el control de la cantidad de sustancias químicas utilizadas. Además, en esta área se requiere la construcción de una caja de registro antes del punto de muestreo No.1 (pozo PV15) y una caseta para la instalación de los siguientes equipos: (ver anexo No.2, figuras 26, 29 y 30):

- Recipiente para almacenamiento de ácido sulfúrico: de material plástico.
- Equipo medidor de pH en línea. (ver anexo No.4, figura 41 y tabla XXXIII).
- Bomba para dosificar ácido sulfúrico. (ver anexo No. 4, figura 42 y tabla No. XXXIV).
- Tablero eléctrico para el medidor de pH en línea.

#### 7.2.4. Descripción del sistema de tratamiento

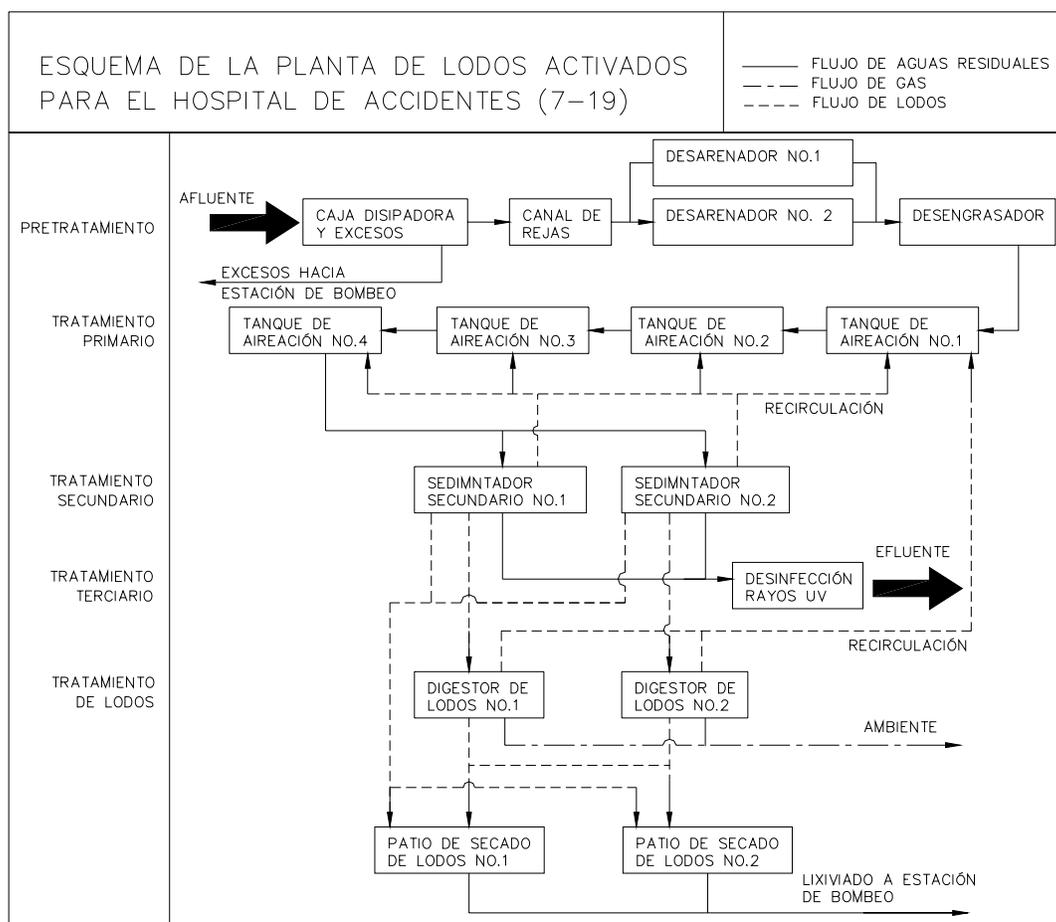


Figura 15. Diagrama de la planta de tratamiento de aguas residuales.

#### 7.2.4.1 Estación de bombeo

Incluirá dos bombas sumergibles para aguas residuales de dos caballos de fuerza (HP), 220 voltios, monofásicas. (para succionar sólidos de un tamaño máximo de una pulgada (2,54 cm). Ver anexo No.2, figuras 26, 31 y 32 y anexo No.4, figura 45.

#### 7.2.4.2 Caja disipadora de caudal y excesos

La caja será construida de concreto reforzado y consta de tres compartimentos de una longitud de 0,50m, 0,30m y 0,50m, el ancho será de 0,90m y 0,85m de altura, con una compuerta de vástago ascendente hacia el área del canal de rejás. (Ver anexo No. 2, figuras 33, 34 y 35).

#### 7.2.4.3 Canal de rejás

El canal de rejás será construido de concreto reforzado, con 0,30m de ancho, una altura de 0,30m, longitud de 1,55m y una pendiente del 1%. Además, se colocará dos compuertas de vástago ascendente para regular el caudal de entrada al desarenador. La reja será elaborada con barras de acero de 3/8" (9,53mm) y el área libre entre barras será de 3/8" (9,53mm) y con una inclinación de 60 grados respecto de la horizontal. Se colocarán angulares en el perímetro de la reja para facilitar la limpieza e inspección. Además, se diseñó un depósito para colocar los sólidos removidos en la reja y permitir que se elimine el agua contenida, para su posterior disposición como residuos sólidos. (ver anexo No. 2, figuras No 33, 34 y 35).

#### 7.2.4.4 Desarenadores

Seguido al canal de rejás se colocarán en paralelo dos desarenadores de concreto reforzado, con sus respectivas compuertas, lo que permitirá el uso de una sola unidad en el funcionamiento de la planta operada con el caudal promedio. La segunda unidad será utilizada cuando se realicen actividades de mantenimiento y cuando se exceda el caudal promedio de diseño. La longitud de cada desarenador es 4,55m, con un ancho de 0,300m, altura de 0,30m y una pendiente del 1% (ver anexo No 2, figuras 33, 34 y 35).

#### 7.2.4.5 Medidor de caudal

Después de los desarenadores, se colocará un medidor de caudal tipo “SUTRO”, que estará calibrado para que permitir, fácilmente, la lectura del caudal que ingresa al sistema de tratamiento.

#### 7.2.4.6 Desengrasador

El desengrasador será construido de concreto reforzado, con una pantalla intermedia y pendiente mínima del 1%. La longitud será de 2,60m, el ancho de 1,45m y la altura de 1,45m (ver anexo No.2, figuras 33, 34 y 35).

#### 7.2.4.7 Tanques de aireación (lodos activados)

La planta de tratamiento constará de 4 tanques de aireación colocados en serie. Cada tanque de aireación será de 4,0m de ancho, 8,0m de largo y una profundidad de agua de 3,95m (ver anexo No.2, figuras 26, 33, 34, 36, 37 y tabla XXXI).

El proceso de aireación constará de tres equipos motor-soplante (dos de operación y uno de reposición), la cubierta de fibra de vidrio con apoyo de hierro, acoples flexibles para la tubería de descarga de alivio de presión. Los sopladores serán rotatorios de desplazamiento positivo (tipo Blower), acoplados cada uno a un motor eléctrico horizontal, 110/120 voltios y una potencia de 7,5 caballos de fuerza con un silenciador. (ver anexo No.4, figuras 43 y 44).

#### 7.2.4.8 Sedimentador secundario

Se construirán dos unidades de concreto reforzado que tendrán 4,50m de ancho, 4,0m de longitud y una profundidad del agua decantada de 1,55m. El área donde se sedimentarán los lodos será de superficie cónica con una pendiente de 45 grados y una altura de 2,40m. (ver anexo No.2, figuras 26, 33, 34, 36, 37 y tabla XXXI).

#### 7.2.4.9 Desinfección

Este proceso se realizará mediante el uso de rayos ultravioleta de tipo Trojan 3000 PT o similar, con capacidad de 33 metros cúbicos de caudal a tratar por hora. (ver anexo No.2, figuras 26, 33, 34, tabla XXXI y anexo No.4, figura 46).

#### 7.2.4.10 Digestor anaeróbico

Para el tratamiento de lodos se utilizará dos unidades de digestión anaeróbica que tendrán 3,70m de ancho, 3,70m de longitud y una profundidad será de 4,0m. La estructura de los digestores será de concreto reforzado y estará cubierta con una losa en la parte superior y una tubería de evacuación de gases (ver anexo No.2, figuras 33, 34, 37 y tabla XXXI). Los lodos se extraerán de forma hidráulica hacia el patio de secado de lodos.

#### 7.2.4.11 Patio de secado de lodos

Se diseñó un patio de secado de lodos con dos áreas de 0,30m de altura, 5,40m de ancho y 8,12m. de longitud. (ver anexo No.2, figuras 26, 33, 34, 37, 38 y tabla XXXI). Se deberá evaluar la viabilidad de utilización de este sistema de tratamiento de lodos o de disponer de los mismos de otra manera.

7.2.5. Resumen de diseño del sistema de tratamiento

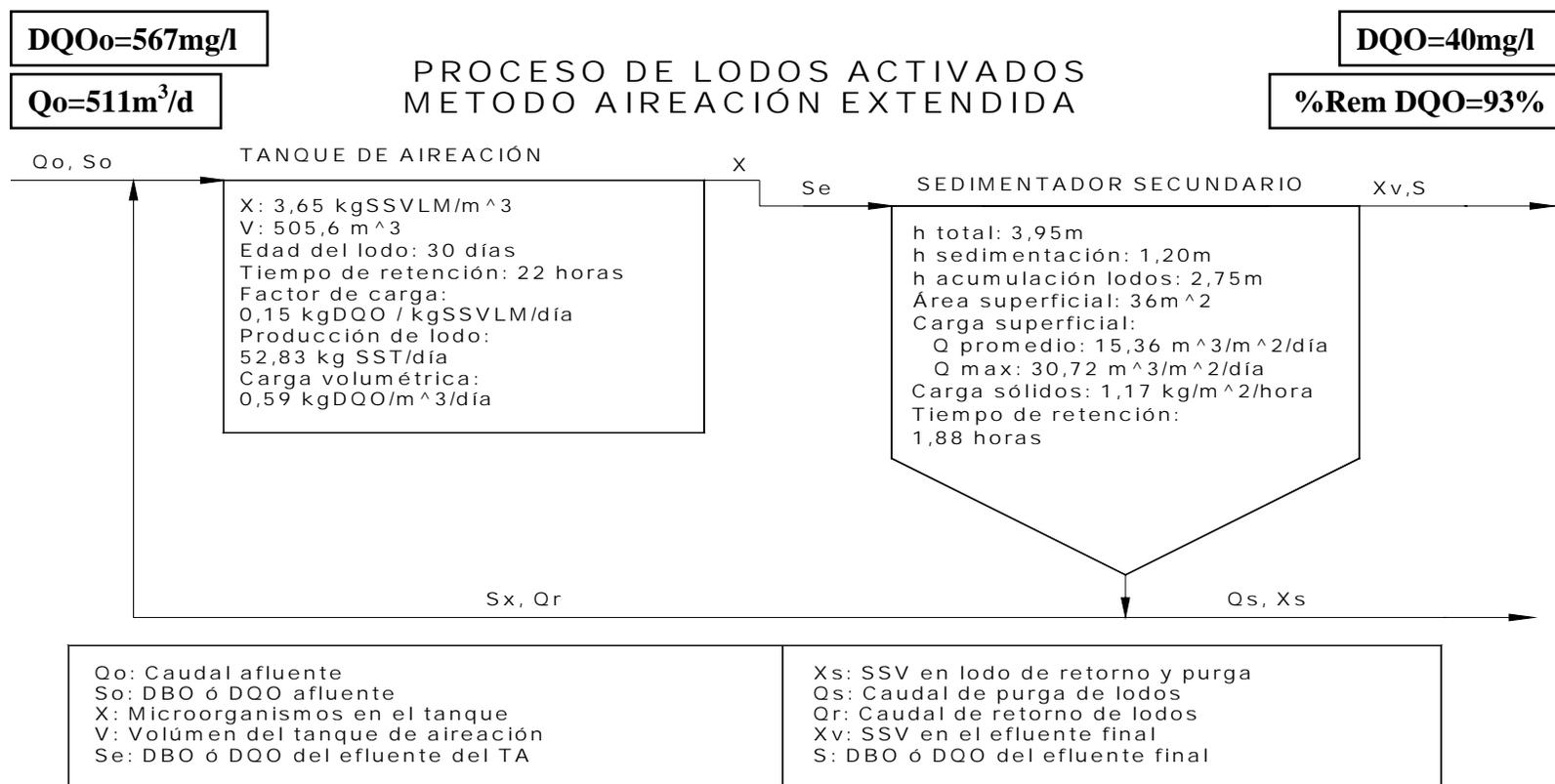


Figura 16. Resumen del diseño del proceso de lodos activados.

### 7.2.6. Estimación de costo de la opción de tratamiento

En la estimación de los costos de la opción de tratamiento y de las readecuaciones del sistema de evacuación de aguas residuales se consideró:

- Costos directos de materiales y mano de obra.
- Costos indirectos correspondientes: administración, utilidad e imprevistos del contratista.

Los costos directos e indirectos se consideran en cada una de las actividades de la obra, correspondiendo, aproximadamente, un 20% a los costos indirectos sobre el total de los costos directos y un 5% de los mismos costos de imprevistos (ver tabla XXX y anexo No.3, tabla XXXII).

En los costos de los materiales se estimó el valor de los impuestos y la colocación en el sitio de la construcción.

Tabla XXX. Estimación del costo por proceso de tratamiento de las aguas residuales del Hospital General de Accidentes del IGSS

Item	Descripción	Cantidad	Unidad	Total
1	Obras preliminares (bodega, traslado de equipo y otros)	1	global	Q5 250,00
2	Pretratamiento lavandería	1	global	Q26 806,37
3	Readecuación de la línea de conducción	1	global	Q16 314,07
4	Estación de bombeo	1	global	Q89 849,01
5	Pretratamiento hospital general	1	global	Q13 955,53
6	Tratamiento primario (4 aireadores)	1	global	Q400 698,20
7	Tratamiento secundario (2 sedimentadores)	1	global	Q104 375,00
8	Desinfección con rayos UV	1	global	Q318 131,95
9	Descarga de efluente a colector público	1	global	Q2 481,58
10	Recirculación de lodos (de sedimentadores a aireadores)	1	global	Q45 000,00
11	Tratamiento de lodos (2 digestores y patio de secado)	1	global	Q112 505,12
12	Recirculación de lixiviados de lodos a estación de bombeo (red de tubería de lecho de secados a estación de bombeo)	1	global	Q14 515,00
13	Descarga de gases de digestores (a la atmósfera)	1	global	Q1 301,90
<b>Gran total</b>				<b>Q1 151 183,73</b>
Tipo de cambio Q/\$: Q7,60/\$ (18 de marzo de 2006)				<b>Q2 252,05</b>

## 8. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 8.1.Caudal

Con base en los resultados presentados en la tabla V se pudo observar que del 100.00% (5,92 l/s) de las aguas residuales del Hospital de Accidentes, el 67,36% (3,99 l/s) corresponde al área de lavandería.

En la figura 11 se presenta el comportamiento del consumo de agua potable del Hospital General de Accidentes durante un día normal de actividades, obteniéndose mayores consumos de agua en el período de 8:30 de la mañana a 4:30 de la tarde, que es el horario en que todos los servicios están trabajando a su máxima capacidad, tienen un caudal promedio de 6,4 l/s.

En la figura 12 se presenta el comportamiento de las descargas de aguas residuales del Hospital General de Accidentes durante el período de muestreo; se observó que en el período de 7:00 a 10:00 de la mañana se presenta el mayor caudal de descarga.

Con base en lo anterior, se realizó una comparación entre el caudal de agua potable consumido contra el caudal de agua residual; se obtuvo que para las mediciones realizadas el factor de retorno de aguas residuales es del 93,0%.

Se realizaron mediciones de caudal de descargas de aguas residuales y se utilizó el valor promedio para calcular el caudal por cama por día en el Hospital General de Accidentes. Actualmente, en el Hospital se tiene la disponibilidad de 319 camas, por lo que se obtuvo un valor de 1,6 m<sup>3</sup>/cama/d. Haciendo una comparación de datos encontrados en diversas referencias, se encontró que investigaciones llevadas a cabo en

los Estados Unidos de América, el caudal varía entre 0,5 y 0,95 m<sup>3</sup>/cama/día<sup>47</sup>. En otros estudios realizados en Pinar del Río, Cuba, se determinó que el caudal variaba entre 0,47-0,98 m<sup>3</sup>/cama/d<sup>48</sup>. De igual forma, en un centro hospitalario de Buenos Aires, Argentina, el caudal de aguas residuales fue de 1,58 m<sup>3</sup>/cama/d.<sup>49</sup>

## 8.2. Resultados de análisis físicos, químicos y bacteriológicos.

Con base en los resultados de la tabla VI, donde se presentan los promedios, valores máximos y mínimos de los análisis realizados a las muestras captadas en el punto No.1, se tiene que el potencial de hidrógeno promedio tiene un valor de 10,42; presentándose en este punto variaciones de pH entre 10,14 y 10,64. Debido a que este punto corresponde al caudal proveniente del área de lavandería se investigó el tipo de sustancias químicas que, actualmente, son utilizadas en el proceso de lavado lo que se interpretará en el inciso 8.3.

En este mismo punto de muestreo se encontró que la temperatura presenta un valor promedio de 36,74 °C y este valor oscila en el rango que va de 35,35°C a 38,33°C, lo cual no causaría un impacto en el tratamiento biológico de las aguas residuales, ya que en el punto No.4 la temperatura llega en promedio a 29,07 °C y varía en el rango de 27,75°C y 29,91°C.

Los parámetros adicionales presentados en la Tabla VI no presentan valores de concentración significativa para utilizarse en un posterior tratamiento. En el caso de la DBO<sub>5</sub> y DQO, los valores promedios fueron los más bajos de los cuatro puntos de muestreo con concentraciones en un rango que varía entre 153,33 mg/l y 360,67 mg/l, respectivamente. La DQO oscila entre 330,00 mg/l y 400,00 mg/l mientras que la DBO<sub>5</sub>

---

<sup>47</sup> Fuente: Metcalf & Eddy. **Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización.** (3 ed. México: McGraw-Hill, 1996), p. 32.

<sup>48</sup> Fuente: Jorge R. de Armas. "Variaciones del caudal y consumos de aguas relativas a una cama en el hospital Abel Santamaría en Pinar del Río, Cuba" (Ingeniería hidráulica y ambiental, Colombia, 2002), pp 20-24.

<sup>49</sup> Fuente: Marta Paz y otros. "Aguas residuales de un centro hospitalario de Buenos Aires, Argentina: características químicas, biológicas y toxicológicas, Argentina" (Higiene y sanidad ambiental, Argentina, 2004), pp 83-88.

varía en el rango que va de 120mg/l a 180mg/l. En ambos casos las variaciones son bajas entre los muestreos realizados. Este comportamiento indica una carga contaminante relativamente baja debido a la dilución por la cantidad de agua que se utiliza en el proceso de lavado.

En la tabla VII, se presentan los resultados de coliformes fecales y totales promedios, valores máximos y mínimos en función de diversos rangos de pH y temperatura, correspondientes a los muestreos realizados en el punto No.1. Con base en un análisis de los resultados se tiene que en el rango de pH de 10 a 11 y con temperaturas que oscilan entre los 44,4 y 50,0 °C se tiene que los coliformes fecales y totales disminuyen notablemente en comparación con los datos obtenidos en el mismo rango de pH con temperaturas entre los 24,0 y 25,8 °C. Los microorganismos son afectados tóxicamente por el ión hidroxilo en pH superiores a 9,5 y a temperaturas superiores a 45 °C las células vegetativas pueden morir fácilmente por desintegración celular<sup>50</sup>. Con esto se comprueba que el efecto del pH y la temperatura afectan el comportamiento microbiano. Los resultados físicos, químicos y bacteriológicos presentados en las tablas VIII, IX, X y XI, que corresponden a los puntos No.2 y 3 no poseen ninguna variación considerable con respecto a los parámetros de las aguas residuales domésticas.

En la tabla XII, se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos del punto de muestreo No.4 y se hace una comparación con los parámetros establecidos en los reglamentos de vertido de aguas residuales de Guatemala y Costa Rica:

El potencial de hidrógeno promedio en las muestras captadas en el punto No.4 es de 9,59 y, debido a que los microorganismos son afectados tóxicamente por el ión hidroxilo en pH superiores a 9.5, este valor influiría negativamente en un tratamiento de tipo biológico, por lo que deberá ser disminuido mediante un pretratamiento químico previo

---

<sup>50</sup> Fuente: Ross E. McKinney. **Microbiology for Sanitary Engineers. (Estados Unidos, 1962), pp 131–132.**

al tratamiento biológico. El valor de pH se debe, principalmente, a la descargas del agua residual proveniente del área de lavandería (punto No.1) debido a que corresponde al mayor porcentaje de caudal total sobrepasando dos veces el caudal de la suma de los puntos No.2 y 3. En la tabla XLI presentada en el anexo No.5, se puede apreciar que durante todos los muestreos realizados, el valor de pH es superior al valor máximo permisible establecido en los reglamentos de vertido de aguas residuales de Guatemala y Costa Rica.

La temperatura en el punto de muestreo No.4 tiene un valor promedio de 29,07 y varía en un rango de 29,91 a 27,75 °C este valor es inferior al parámetro establecido en los reglamentos de vertido de aguas residuales de Guatemala (40 °C) y Costa Rica (40 °C). Con respecto a la eficiencia en la remoción de sustrato soluble, diferentes autores coinciden en que no existe influencia por variaciones en la temperatura entre los 4 a 31 °C. para sistemas de lodos activados (que es el tratamiento propuesto en este estudio), con aguas residuales y edades de lodo superiores a los tres días.<sup>51</sup> El parámetro de temperatura a lo largo de los muestreos no posee grandes variaciones en el tiempo, como se puede mostrar en el anexo No.5, tabla XLI.

El color en el punto de muestreo No. 4 varía en el rango que va de 29,20 a 36,80 unidades de color en la escala platino cobalto. El 90% de los resultados de análisis realizados se agrupan en el rango que va de 29,20 a 36,80 unidades de color en escala platino cobalto. Al hacer una investigación en el área de laboratorio clínico se determinó que, durante las horas del período de muestreo, se descargaban sustancias químicas utilizadas en tinciones para análisis microbiológico. El valor establecido para color en el reglamento de vertido de aguas residuales para Costa Rica (40 unidades de color en escala platino - cobalto), es sobrepasado por las muestras realizadas, mientras que el resultado de todas la muestras cumplen con el valor máximo permisible establecido para la norma de Guatemala (500 unidades de color en escala platino - cobalto).

---

<sup>51</sup> Fuente: Luis A. Salas. **Parámetros de Control de una Plata de Lodos activados.** (Guatemala, 1987), p 20

En la tabla XLI del anexo No.5, se puede apreciar que los sólidos suspendidos totales es uno de los parámetros que tiene mayor variabilidad en el tiempo en el punto de muestreo No.4. Las variaciones pueden deberse al vertido de sustancias químicas y sangre de las áreas de laboratorio clínico, banco de sangre, morgue y lavandería. Es importante mencionar que las aguas residuales variaban su concentración de sólidos suspendidos a lo largo del día debido, principalmente, cuando se presentaban descargas del área de lavandería de forma irregular, variando las descargas en períodos de 20 y 30 minutos, por lo cual la variación de los sólidos suspendidos totales puede deberse a la dilución. El 50% de los resultados de los muestreos de los sólidos suspendidos totales se agrupan en el rango de 214 a 308 mg/l. Las muestras realizadas en relación con los sólidos suspendidos totales superan el valor máximo establecido en el reglamento de vertido de aguas residuales de Guatemala (200 mg/l) y de Costa Rica (500 mg/l).

En lo correspondiente a los resultados de los análisis de la demanda química de oxígeno, el 70% de los muestreos realizados se agrupa en el rango de 535 a 602 mg/l (rango utilizado para calcular el valor promedio de 567,30 mg/l). Las variaciones pueden deberse al vertido de sustancias químicas y sangre de las áreas de laboratorio clínico, banco de sangre, morgue y lavandería. Los valores obtenidos en las muestras compuestas analizadas sobrepasan el valor límite establecido por el reglamento de vertido de aguas residuales para Guatemala (200 mg/l) y para Costa Rica (500 mg/l).

Los sólidos sedimentables en el punto de muestreo No.4, varían en el rango que va de 0,30 a 4,50 mg/l, el 40% de los resultados de los análisis de laboratorio es de 1,5mg/l, el 50% de los datos se mantuvieron por debajo de 1,2 mg/l (ver anexo No.5, tabla XLI) y el 10% corresponde a un valor de 4,5 mg/l. Este parámetro sobrepasa lo contenido en el reglamento de vertido de aguas residuales para Costa Rica (1,0 mg/l).

De los tres muestreos realizados en el punto No.4 de grasas y aceites se tiene que el valor mayor fue de 0,86 mg/l (por debajo de la norma de vertido de aguas residuales de Costa Rica que tiene un valor de 100 mg/l). La mayor concentración se obtuvo cuando se utilizaron enzimas en el área de cocina para diluir las grasas.

Los resultados de la demanda bioquímica de oxígeno en el punto de muestreo No.4, varían en un rango entre 200 a 400 mg/l. El 50% de los resultados de los análisis se agrupa en el rango de 300 a 305 mg/l, el 40% de los resultados se ubica en el rango que va de 200 a 288 mg/l y el 10% se establece por encima de ambos rangos. Las concentraciones más altas se obtienen en las áreas donde se ubica la mayor población del hospital (encamamiento y consulta externa en los puntos de muestreo 2 y 3) donde se encuentran las baterías de baño y cuartos sépticos. El valor promedio de la DBO<sub>5</sub> es de 306,8 mg/l. Con base en los resultados se sobrepasa el valor establecido en los reglamentos de Costa Rica (300mg/l) y Guatemala (200 mg/l).

La concentración de las sustancias activas de azul de metileno en el punto No.4 (tabla XLI del anexo No.5), se incrementó conforme se realizaron las muestras compuestas debido a la cantidad de detergente utilizada en el área de lavandería. Su variación oscila entre 2,2 y 5,41mg/l. Los resultados de los análisis de laboratorio están por debajo del valor máximo permisible establecido en el reglamento de vertido de aguas residuales de Costa Rica (10 mg/l).

La concentración del nitrógeno total en el punto de muestreo No.4 tiene un comportamiento regular a lo largo del tiempo. El 70% de los resultados de los análisis se encuentra en un rango entre 33,60 a 39,20 mg/l. El valor promedio es de 35,84 y se encuentra por debajo de los reglamentos de vertido de aguas residuales para Guatemala (40 mg/l) y Costa Rica (40 mg/l).

La concentración del fósforo total tiene un comportamiento variable a lo largo del tiempo, muestra una variación entre 1,6 y 4,8 mg/l. Los valores máximos se generan en las áreas de mayor población del hospital (punto No.2 y 3) y los más bajos se presentan en el área de lavandería y esto puede deberse al efecto de dilución del área de lavandería. En este parámetro se cumple con lo dispuesto en los reglamentos de vertido de aguas residuales para Guatemala (10 mg/l) y Costa Rica (20 mg/l).

Según ECKENFELDER W.W. (PRINCIPLES OF WATER QUALITY MANAGEMENT – Boston, Massachusetts, 1980), para completar el funcionamiento óptimo celular sugiere una relación,  $DBO_5$  removida : N : P = 100:5:1, con ello se obtiene un adecuado tratamiento del agua residual.<sup>52</sup> Con los datos obtenidos en los muestreos del punto No.4, la relación obtenida es de 100:13,40: 1,21 por lo cual un tratamiento biológico puede efectuarse adecuadamente.

En todos los muestreos realizados se observó, con los resultados de los análisis de laboratorio, que los cianuros no se encuentran presentes en las aguas residuales del hospital en concentraciones significativas.

Se observa que el valor de las concentraciones de los metales pesados como el cobre, níquel y plomo no tienen una presencia significativa en las aguas residuales del hospital. El zinc y el cromo se encuentra presentes en cantidades muy pequeñas e inferiores a lo establecido en los reglamentos de vertido de aguas residuales para Guatemala (10 mg/l para el zinc) y Costa Rica (10 mg/l para el zinc y 2,5 mg/l para el cromo).

El valor de la concentración promedio de cadmio en el punto No.4 es de 0,13 mg/l. Al hacer una comparación de este valor con los reglamentos de vertidos de aguas residuales de Guatemala y Costa Rica, se evidenció que la concentración es superior a lo establecido en dichos reglamentos. Debido a que en el agua para consumo humano las

---

<sup>52</sup> Fuente: Luis A. Salas. **Parámetros de control de una planta de lodos activados.** (Guatemala, 1987), p 14.

concentraciones suelen ser muy bajas, se investigó todas las posibles fuentes de contaminación por este metal. Cuando se encuentran niveles más altos de cadmio en el agua que sale del grifo, frecuentemente, se debe a que las piezas de unión de las tuberías tienen un baño metálico, al uso de soldaduras a base de plata y a que los materiales de las tuberías son a veces de hierro galvanizado<sup>53</sup>. Durante las visitas realizadas al Hospital General de Accidentes, se encontró que las tuberías de las áreas de esterilización, cocina, marmitas y autoclaves son de hierro galvanizado.

En el punto No.4 se observa que las concentraciones de cromo y cadmio exceden a los valores permisibles de un agua para consumo humano,<sup>54</sup> por lo que las concentraciones de estos metales provienen de actividades rutinarias del hospital (desinfección de heridas) en el caso del cromo y del material de las tuberías en algunas áreas en el caso del cadmio. Los metales pesados son tóxicos para los microorganismos debido a su capacidad de enlace a las proteínas en los sistemas de la membrana enzimática.<sup>55</sup> Por lo anterior, la presencia de metales pesados en las aguas residuales influye en la disminución de la concentración de coliformes fecales.

En la tabla XIII se presentan los resultados de coliformes fecales y totales promedios, valores máximos y mínimos en función de diversos rangos de pH y temperatura, correspondientes a los muestreos realizados en el punto No.4. Con base en un análisis de los resultados se tiene que, en el rango de pH de 10 a 11 y con temperaturas que oscilan entre los 38,0 y 40,0 °C, los coliformes fecales y totales disminuyen notablemente en comparación con los datos obtenidos en el mismo rango de pH con temperaturas entre

---

<sup>53</sup> Fuente: Organización Panamericana de la Salud. **Guías para la calidad de agua potable, volumen II (Estados Unidos: OPS, 1987), p 86.**

<sup>54</sup> Fuente: Presidencia de la República y Ministerio de Salud de Costa Rica. **Reglamento para la calidad del agua potable, La Gaceta No.84 (Costa Rica: 2005), pp 2-5.**

Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR Ministerio de Economía de Guatemala. **Norma guatemalteca obligatoria COGUANOR NGO 29001, agua potable(Guatemala: 1999).**

<sup>55</sup> Fuente: Ross E. McKinney. **Microbiology for Sanitary Engineers. (Estados Unidos, 1962), p 133.**

los 24,5 y 30,6 °C. Con esto se comprueba que el efecto del pH y la temperatura afectan el comportamiento microbiano.

De 21 análisis bacteriológicos realizados en el punto de muestreo No.4, 18 superan el valor máximo permisible de coliformes fecales establecido en el reglamento de vertido de aguas residuales para Guatemala ( $1 \times 10^4$  NMP/100 cm<sup>3</sup>) y para Costa Rica ( $1 \times 10^3$  NMP/100 cm<sup>3</sup>), lo que equivale al 85,71% del total de las muestras analizadas.

En la Figura 13 se presenta el comportamiento de la concentración de bacterias (NMP/100 cm<sup>3</sup>) en relación al incremento del potencial de hidrógeno; en el rango de 7,6 a 9,5 unidades, se muestra una concentración de  $1 \times 10^4$  a  $1 \times 10^8$ , mientras que para valores superiores a un pH de 9,5, se produjo un decrecimiento en la concentración bacteriana.

### 8.3. Sustancias utilizadas en el área de lavandería

Debido a que los valores de pH del agua residual que se descargan en el área de lavandería son elevados, se realizó un análisis de cada una de las sustancias utilizadas en el proceso de lavado y de la solución compuesta utilizada. En la Tabla XIV se presentan los datos de la dosificación utilizada en el proceso de lavado y de la simulación realizada para efectos de prueba de laboratorio. En la tabla XV se presentan los datos de la determinación de pH de las sustancias químicas utilizadas en el área de lavandería. Cada una de las sustancias y de la solución del lavado, en general, son alcalinas a excepción del detergente de tipo industrial que está en el rango ácido.

Actualmente, en el área de lavandería se prepara una solución compuesta por varias sustancias que al reaccionar producen una neutralización que depende de las concentraciones de cada sustancia adicionada. En casos extremos puede producirse

formación de gases y desprendimiento de vapores, además de sedimentación de sólidos minerales al no lograrse una disolución completa.

En el Hospital General de Accidentes se ha informado que hay pacientes que tienen problemas de alergias y de desgaste y mal lavado de la ropa, esto se debe a que el proceso de lavado no es el adecuado, ya que no se tiene un control estricto en las cantidades óptimas de sustancias químicas por adicionar y de la manera de mezclarlas.

#### 8.4. Relación DBO<sub>5</sub>/DQO y carga contaminante

Con base en los resultados de la tabla XVI donde se presenta la relación DBO<sub>5</sub>/DQO se observa que en el punto de muestreo No.4 la relación de biodegradabilidad del agua es de 0,54 por lo cual el agua es catalogada como muy biodegradable<sup>56</sup>.

En la tabla XVII se presentan los resultados promedio de los análisis realizados en el punto de muestreo No.4 y se hace una relación con la concentración de agua residual doméstica referida por Metcalf & Eddy. Al hacer un análisis de comparación de las concentraciones de sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y nitrógeno, se obtuvo que el agua residual presenta características de un agua residual doméstica de concentración fuerte.

Los valores de coliformes totales y fecales presentados en la tabla XVII, corresponden a las aguas residuales de un rango de pH entre 8 y 9, no se incluyen los datos de las aguas residuales que presentaban valores de pH superiores a 9, debido a que como se ha hecho referencia anteriormente, la concentración de microorganismos decrece con el aumento de la concentración del ión hidroxilo. Haciendo una comparación con la concentración de coliformes totales y fecales se obtuvo que el agua

---

<sup>56</sup> Fuente: Zenón Much. **Química y microbiología sanitaria; “teoría biológica” (curso de maestría en ingeniería sanitaria, Guatemala: ERIS – USAC, 2005), p.4.**

residual se encontraba dentro del rango de un agua residual doméstica de concentración media.

En la tabla XVIII se incluyen los valores promedio de carga contaminante del Hospital General de Accidentes y se hace una comparación con valores teóricos de aguas residuales de origen doméstico. En el caso del caudal equivalente por habitante, con los datos obtenidos en los muestreos el valor promedio es de 204,88 l/habitante/d que se encuentra dentro del rango establecido para aguas residuales de origen doméstico.

La carga contaminante de demanda bioquímica de oxígeno (0,063 kg/habitante/d) y demanda química de oxígeno (0,116 kg/habitante/d) obtenidas en los muestreos del punto No.4 son ligeramente superiores a los valores teóricos establecidos para las aguas residuales de origen doméstico. Además, la carga contaminante de los sólidos totales en suspensión (0,055 kg/habitante/d) se encuentra por debajo del rango teórico establecido para agua residual de origen doméstico. La carga contaminante de nitrógeno total (0,008 kg/habitante/d) se encuentra dentro del rango establecido para las aguas residuales de origen doméstico.

## 9. CONCLUSIONES

- Con base en el análisis de calidad de agua se determinó que las aguas residuales del Hospital General de Accidentes del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social difieren de las aguas residuales domésticas en los valores de pH, lo cual no permite que la hipótesis se cumpla.
- Si los valores de pH se pueden llegar a mantener en el rango de 6,5 a 8,5 a través de un pretratamiento o un mejor proceso de lavado; es posible darle un tratamiento de tipo biológico a las aguas residuales del Hospital General de Accidentes.
- De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación se determinó que la carga contaminante promedio de 157,00 kg/día (0,492 kg/cama/d) de DBO<sub>5</sub> y de 290,17 kg/día (0,910 kg/cama/d) de DQO para las condiciones actuales del sistema de evacuación.
- Con base en la comparación entre el caudal de agua potable consumido, contra el caudal de agua residual se obtuvo que para las mediciones realizadas el factor de retorno de aguas residuales es del 93,0%. El caudal de aguas residuales generado por el hospital, en promedio, es de 5,92 l/s que corresponde a una población equivalente de 2 495 habitantes. La dotación promedio es de 1,6m<sup>3</sup>/cama/día para un total de 319 camas.

- Al hacer una comparación de los resultados obtenidos en los muestreos realizados en la descarga final (punto No.4) contra los reglamentos de vertido de aguas residuales para Guatemala y Costa Rica, se llegó a determinar que éstos no se cumplen en los siguientes parámetros: potencial de hidrógeno, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, demanda bioquímica de oxígeno, cadmio y coliformes fecales; ya que las concentraciones de dichos parámetros en las aguas residuales del Hospital General de Accidentes se encuentran por encima de los límites máximos permisibles.

## 10. RECOMENDACIONES

### Lavandería

- Identificar las sustancias químicas que se utilizan en el proceso de lavado y establecer un procedimiento adecuado para las actividades del hospital con el fin de minimizar los costos de procesos de pretratamiento previo al tratamiento biológico de las aguas residuales.

### Descargas de sustancias químicas, desechos de laboratorio y área de radiología

- Las sustancias químicas y reactivos que se desechan en estas áreas deberán ser tratados y dispuestos con técnicas adecuadas al tipo de sustancia.

### Grasas y aceites

- Se deberá sustituir la trampa de grasa actual (convertirla en una caja de registro) y construir una nueva que forme parte del sistema de tratamiento de las aguas residuales.

### Sistema de evacuación de aguas residuales

- Se deberá modificar el sistema general de evacuación de aguas residuales con el fin de separar los caudales de aguas residuales de los caudales de agua pluvial.
- Realizar capacitaciones permanentes con el personal del hospital relacionadas con la eliminación adecuada de los desechos líquidos y sólidos.
- Establecer programas de mantenimiento preventivo periódico a los sistemas de evacuación de aguas residuales y dotar al personal encargado de esta área de los equipos, insumos, herramientas y equipo de seguridad.
- Debido a que se encontraron zonas húmedas en el área de cocina y lavandería, se recomienda revisar y rehabilitar los drenajes de piso.

#### Análisis de alternativas de tratamiento

- En base al análisis de alternativas de tratamiento de aguas residuales se recomienda la construcción de una planta de tratamiento de lodos activados del tipo aireación extendida incluyendo los pretratamientos (regulación de pH entre 6,5 a 8,5 unidades de pH) y post tratamientos que garanticen la eficiencia del tratamiento biológico.

#### Planta de tratamiento

- Se deberá seleccionar la ubicación adecuada para la planta de tratamiento a fin de minimizar los posibles impactos ambientales tales como el ruido, olor y vectores en áreas aledañas al hospital
- Desde el inicio del diseño de la planta de tratamiento se deberá considerar un área para futuras ampliaciones.
- En el efluente de la planta de tratamiento se deberá controlar la turbiedad y los sólidos suspendidos totales (SST) para optimizar el proceso de desinfección con rayos ultra violeta propuesto.

#### Mediciones de consumo de agua potable

- Se recomienda establecer un programa de optimización del consumo de agua potable que incluya la instalación de medidores en las áreas de mayor consumo y de capacitación a los usuarios.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

1. APHA, AWWA, WEF, 1998. Standard methods for the examination of water and waste water. 20th. Edition. EPS Group, Inc., Baltimore, Maryland.
2. Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, desinfección con cloro (En línea). Consultado el 23 de febrero de 2006. Disponible: <http://www.epa.gov/owm/mtb/cs-99-062.pdf>. Washington, D.C., 1999.
3. Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, desinfección con rayos luz violeta (En línea). Consultado el 23 de febrero de 2006. Disponible: <http://www.epa.gov/owm/mtb/cs-99-064.pdf>. Washington, D.C., 1999.
4. Carranza, Gunther, Selección apropiada de tecnologías de tratamiento para aguas residuales domesticas. Guatemala, 1997.
5. CEPIS – OPS. Manual para el manejo de desechos en establecimientos de salud. 1998.
6. CEPIS. Saneamiento ambiental en los servicios de atención de salud; metodología para la evaluación y diagnóstico de las condiciones sanitarias de las unidades de servicio de atención de salud. Perú, 1992.
7. COGUANOR NGO 29001;99, Norma Guatemalteca Obligatoria - agua potable, Especificaciones. Guatemala: COGUANOR, 2000.
8. Colegio federado de ingenieros y arquitectos de Costa Rica. Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones. Octubre, 1991.

9. Crites, Ron; Tchobanoglous, George. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Colombia: McGraw Hill, 2000.
10. De Armas, Jorge R. 2002. Variaciones del caudal y consumos de agua relativos a una cama en el hospital “Abel Santamaría” en Pinar del Río, Cuba. Ingeniería Hidráulica Y Ambiental. VOL XXIII (No.1): 20-24.
11. Emmanuel, E., 2004 .Evaluation des risques sanitaires et ecotoxicologiques lies aux effluents hospitaliers (en línea). Consultado el 23 de febrero de 2006. Disponible: <http://csidoc.insa-lyon.fr/these/2004/emmanuel/These.pdf#search='Emmanuel%2C%20E%3B%20Perrodin%2C%20Y%3B%20Keck%2C%20G%3B%20Vermande%2C%20P.'>
12. Instituto costarricense de acueductos y alcantarillados. Normas de Diseño y Construcción para Urbanizaciones y Fraccionamientos Manual D1. Costa Rica, 2003.
13. Jiménez, Blanca E. La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnologías apropiadas. México: LIMUSA, 2001.
14. Mckinney, Ross E. Microbiology for Sanitary Engineers. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1962.
15. METCALF & EDDY. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Tomo I. México: McGraw Hill, 1996.
16. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos: Acuerdo Gubernativo Número 236-2 006. Guatemala: Diario de Centro América, 2006. p 26.

17. Ministerio de Economía de Guatemala. Comisión Guatemalteca de Normas: Documento número 4 010-DM/D001, Sistema Internacional de Unidades (SI), revisión 3. Guatemala: 1997.
18. Ministerio de Salud de Costa Rica. Reglamento de reuso y vertido de aguas residuales: Decreto ejecutivo 26 042-S-MINAE. Costa Rica: Diario oficial La Gaceta, 1997.
19. Ministerio de Salud de Guatemala. Reglamento de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, Guatemala, 2005.
20. McGhee, Terence. Abastecimiento de Agua y Alcantarillado. Mc Graw Hill, 6° Edición, Colombia, 1999.
21. Much, Zenón. Química y Microbiología Sanitaria; “Teoría biológica”. Curso de maestría en ingeniería sanitaria, Guatemala: ERIS – USAC, 2005.
22. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable. Volumen 1. Ginebra: OMS, 1995.
23. Organización Panamericana de la Salud. Guías para la calidad del agua potable. Volumen 2. Washington, DC: OPS, 1987.
24. Paz, M., Muzio H., Gemini V., Magdalena, A., Rossi, S., Korol, S., Moretón, J., 2 004. Aguas residuales de un centro hospitalario de Buenos Aires, Argentina: características químicas, biológicas y toxicológicas. (En línea). Consultado el 5 de julio de 2 005. Disponible: [www.ugr.es/~dpto\\_prev/Hig\\_Sanid.Ambient.4.83-88%20\(2004\).pdf](http://www.ugr.es/~dpto_prev/Hig_Sanid.Ambient.4.83-88%20(2004).pdf).

25. Pocasangre, Adán. Procesos de tratamiento de aguas residuales; “Caracterización de aguas residuales”. Curso de maestría en ingeniería sanitaria, Guatemala: ERIS-USAC, 2005.
26. Pocasangre, Adán. Procesos de tratamiento de aguas residuales; “Tipos de tratamiento de aguas residuales”. Curso de maestría en ingeniería sanitaria, Guatemala: ERIS-USAC, 2005.
27. Programa regional de desechos sólidos hospitalarios -convenio ALA 91/93. Manual para técnicos e inspectores de saneamiento. Guatemala: AGISA, 1995.
28. Presidencia de la República y Ministerio de Salud de Costa Rica. Reglamento para la calidad del agua potable. Costa Rica: Gaceta N° 84, 2005. pp 2-5.
29. Rodas, Rodolfo E. Determinación del costo directo de construcción de una planta de tratamiento con ayuda de la programación Pert – Tiempo. Guatemala, 2003.
30. Salas, Luis A. Parámetros de control de una planta de lodos activados. 1987. Tesis Mag. Sc, Guatemala, USAC, ERIS.
31. Sandoval, Juan José. Información del curso Seminario de Investigación. Guatemala: ERIS, 2005.
32. Ugalde, Rosa; Villanueva Xenia; Thompson, Marvín; Jiménez, Abrahán. Manual sobre el manejo y disposición de los desechos hospitalarios en el Hospital San Vicente de Paul de Heredia (En línea). Consultado el 5 de julio de 2005. Disponible:

[http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S140912591998000100010&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S140912591998000100010&script=sci_arttext&tlng=es). Costa Rica, 1998.

33. Yáñez, Fabián. Normas de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales – borrador para discusión. Guatemala, 1993.



## **12. ANEXOS**



## **12.1. Anexo No. 1: organigrama y croquis del Hospital General de Accidentes**



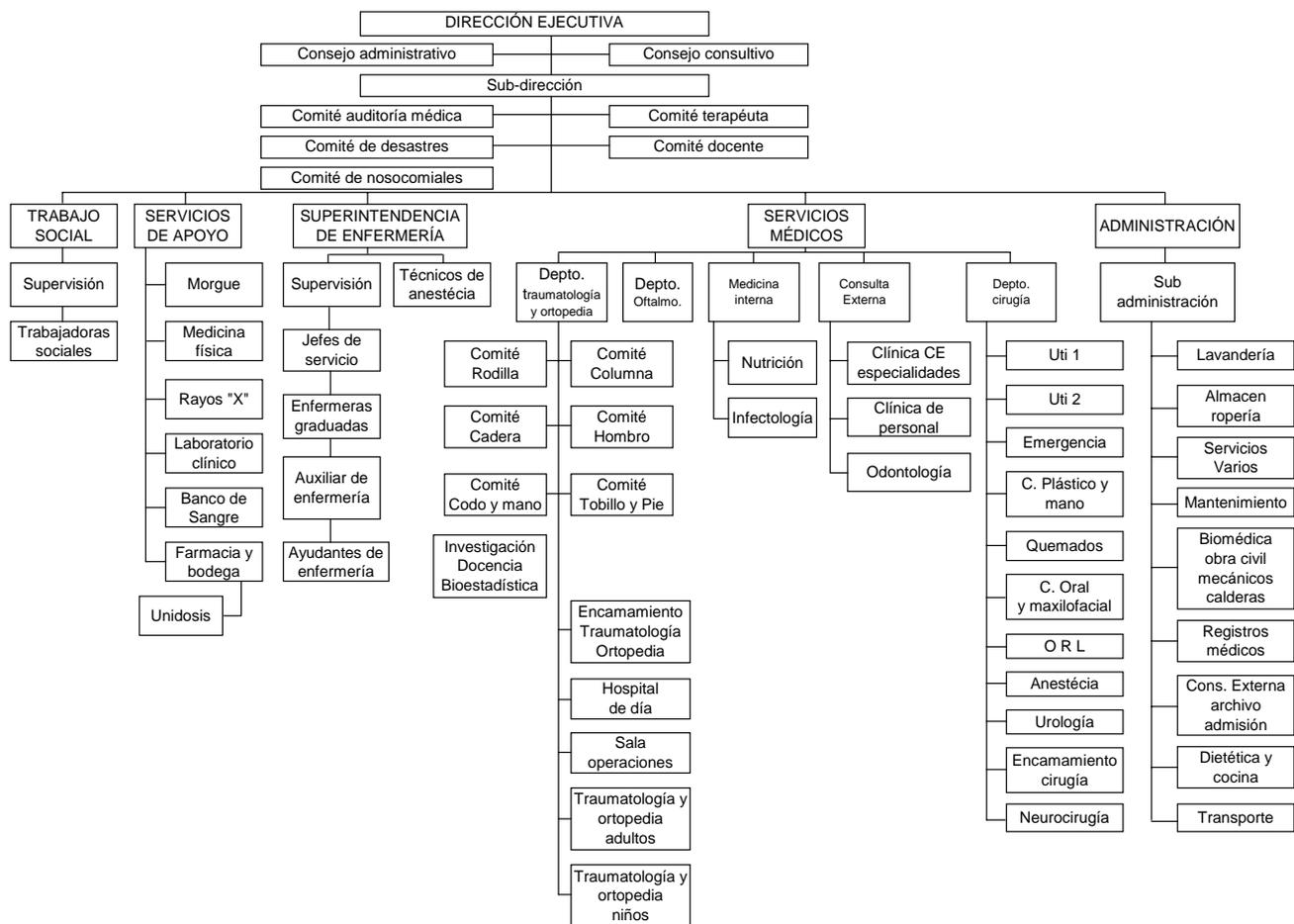


Figura 17. Organigrama del Hospital General de Accidentes<sup>57</sup>

<sup>57</sup> Fuente: Julio Siliézar, **información básica general de la unidad de servicio de atención de salud; sección de mantenimiento del Hospital General de Accidentes del IGSS (Guatemala: 2005).**

Distribución del Hospital de Accidentes por nivel:

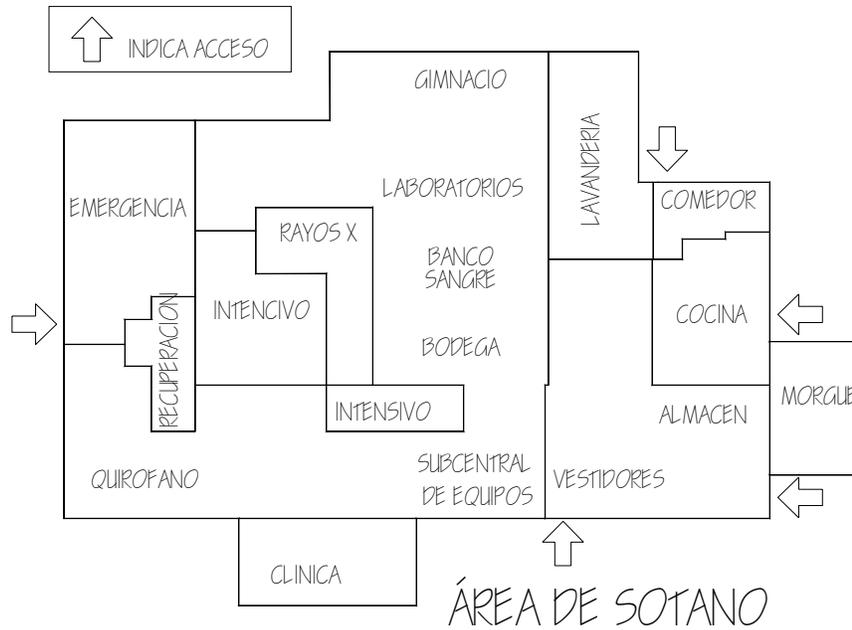


Figura 18. Esquema de área de sótano<sup>58</sup>

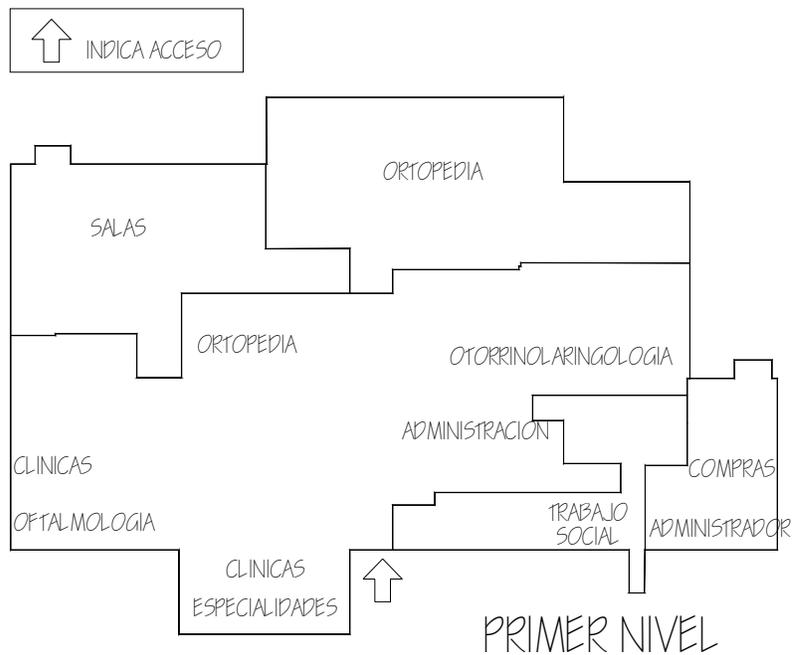


Figura 19. Esquema de área de primer nivel<sup>59</sup>

<sup>58</sup> Fuente: Julio Siliézar, **Replanteamiento arquitectónico del Hospital de Accidentes; sección de mantenimiento del Hospital General de Accidentes del IGSS (Guatemala: 2005).**



Figura 20. Esquema de área de segundo nivel<sup>60</sup>



Figura 21. Área de Casa de Máquinas donde se ubican las calderas e incinerador (Actualmente, el incinerador no es utilizado)

<sup>59</sup> Ibidem.

<sup>60</sup> Fuente: Julio Siliézar, **Replanteamiento arquitectónico del Hospital de Accidentes; sección de mantenimiento del Hospital General de Accidentes del IGSS (Guatemala: 2005).**



Figura 22. Cocina, área de dietas, máquina de limpieza de azafates, marmitas.



Figura 23. Lavandería, área de clasificación de ropa y lavadoras industriales.



Figura 24. Lavandería, lavadoras, secadoras y área de planchado (mangle).



Figura 25. Laboratorio, distintas áreas y autoclaves.

## **12.2. Anexo No. 2: planos de la planta de tratamiento de aguas residuales**



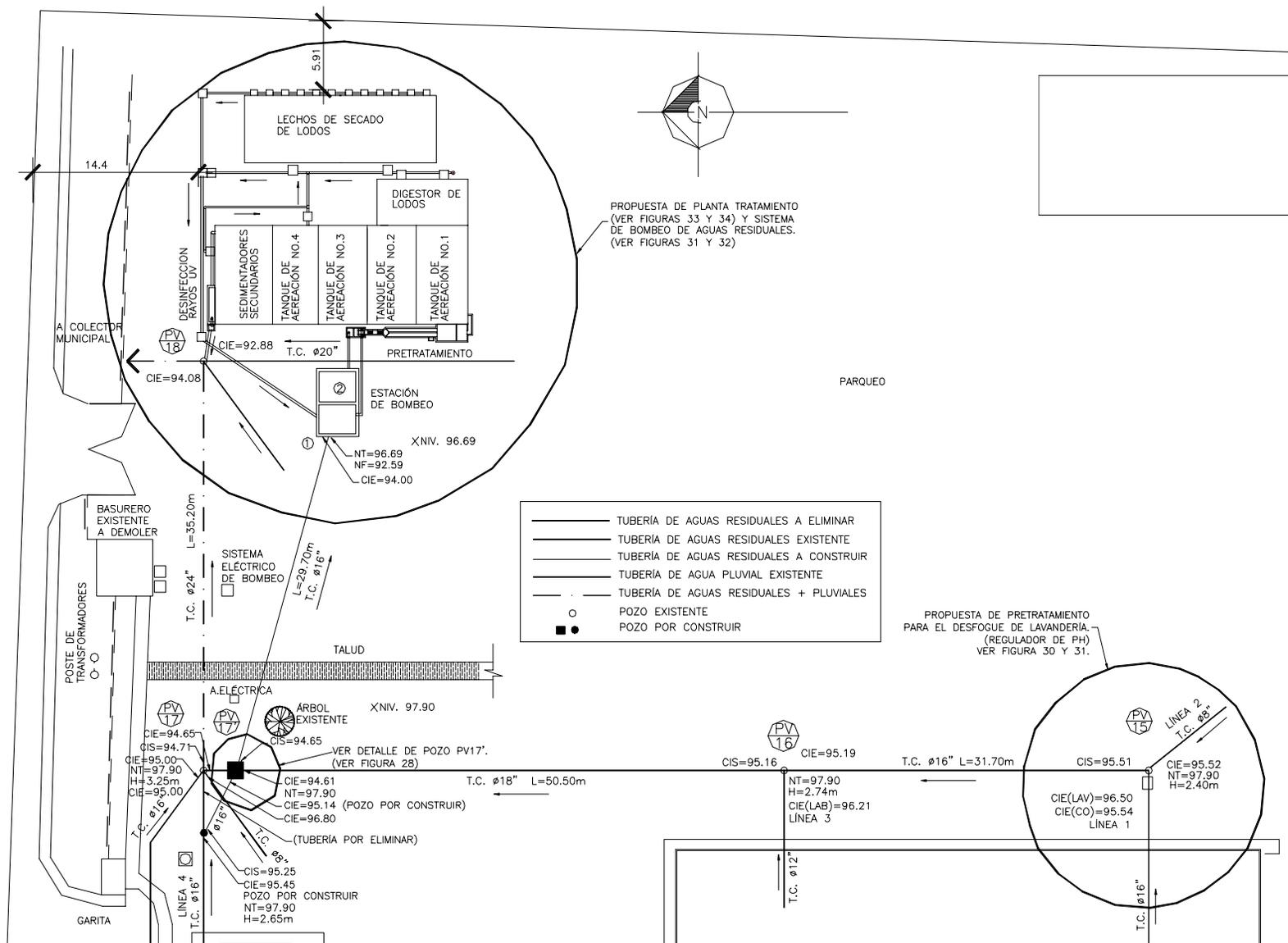


Figura 26. Ubicaci3n general de la planta de tratamiento de lodos activados

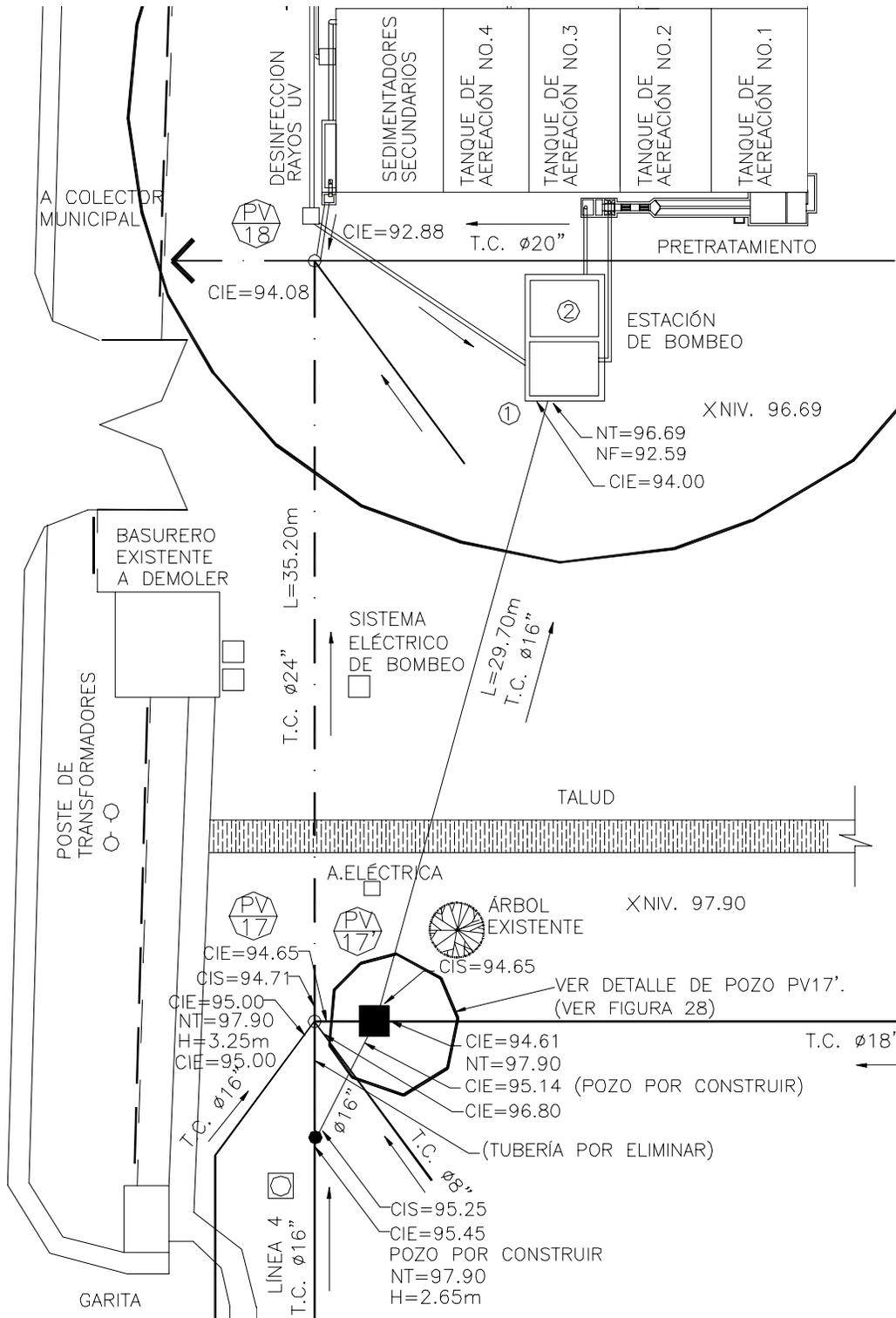
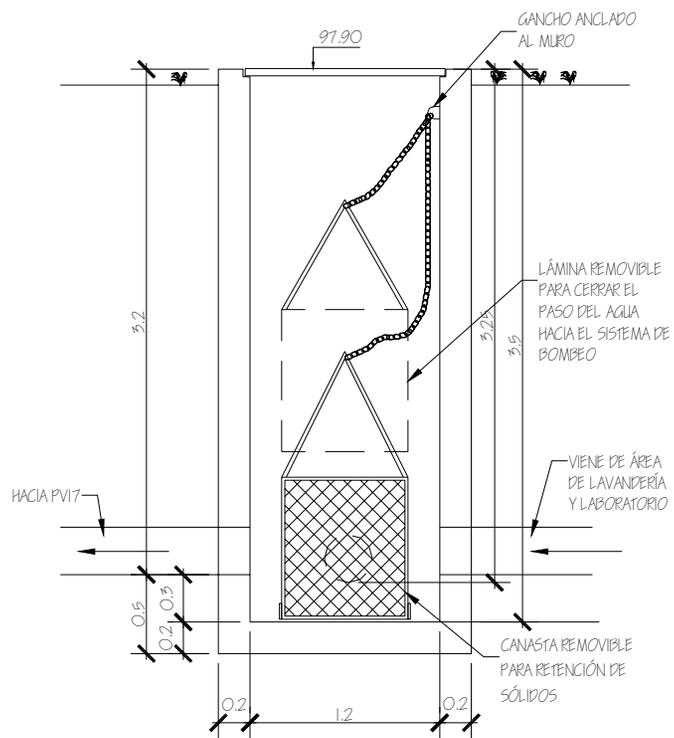
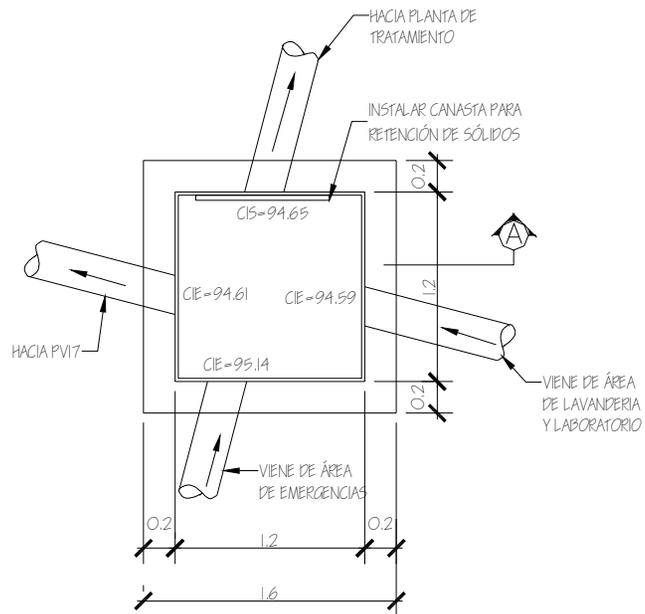


Figura 27. Modificaciones al sistema de evacuación de aguas residuales



SECCIÓN



PLANTA

Figura 28. Pozo de registro por construir PV17.

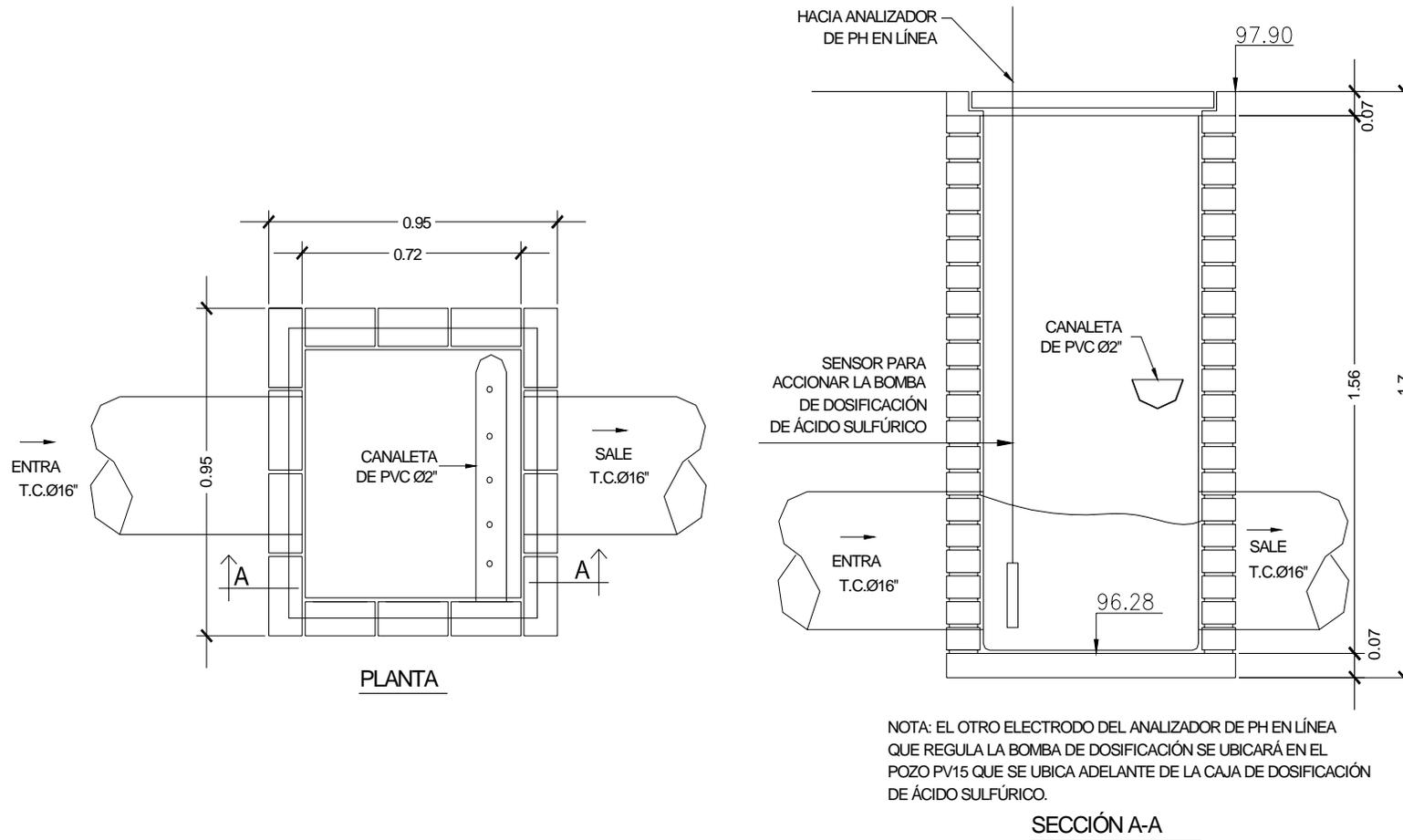


Figura 29. Planta y sección de caja de registro por construir para realizar el pretratamiento de estabilización de pH en las aguas provenientes de lavandería

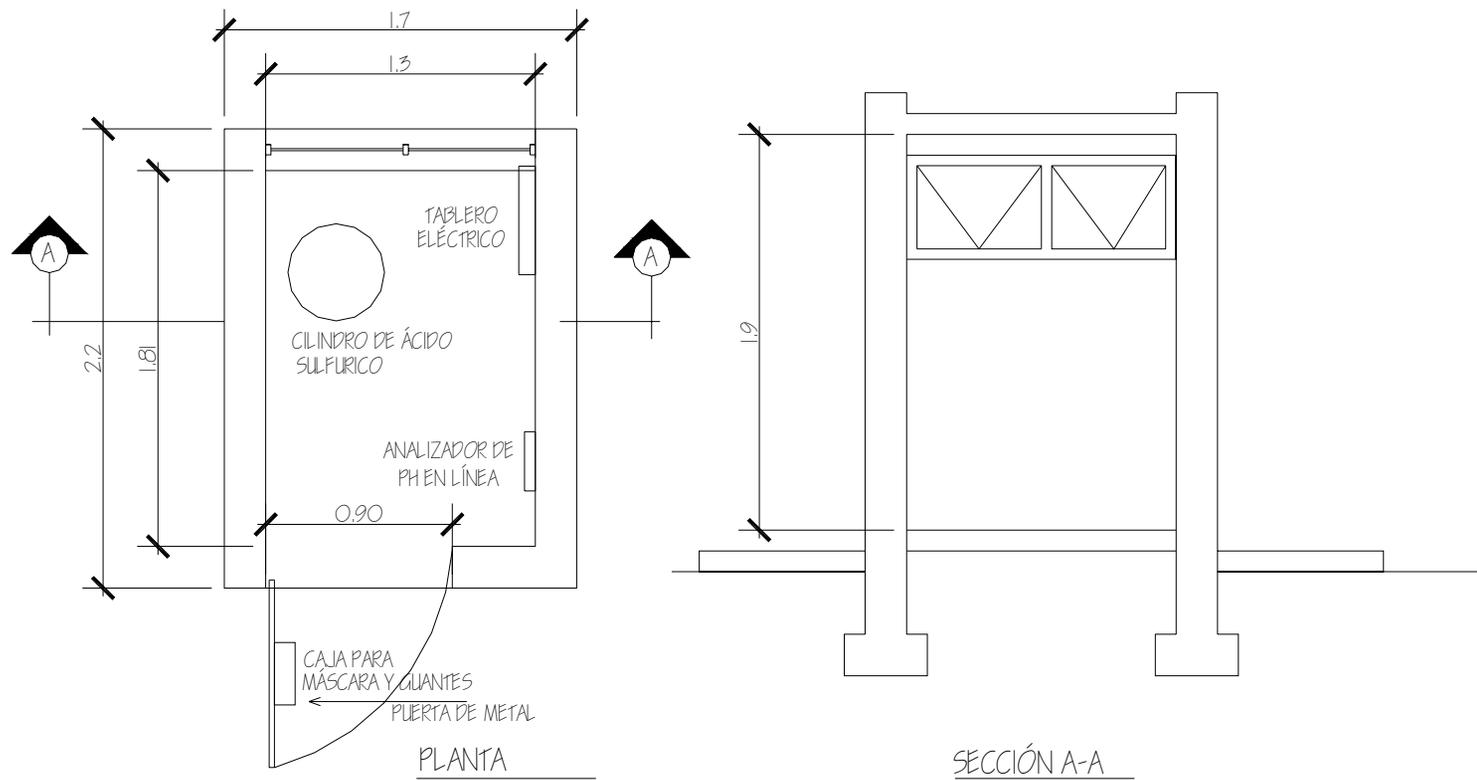


Figura 30. Planta y sección de caseta por construir para realizar el pretratamiento de estabilización de pH en las aguas provenientes de lavandería

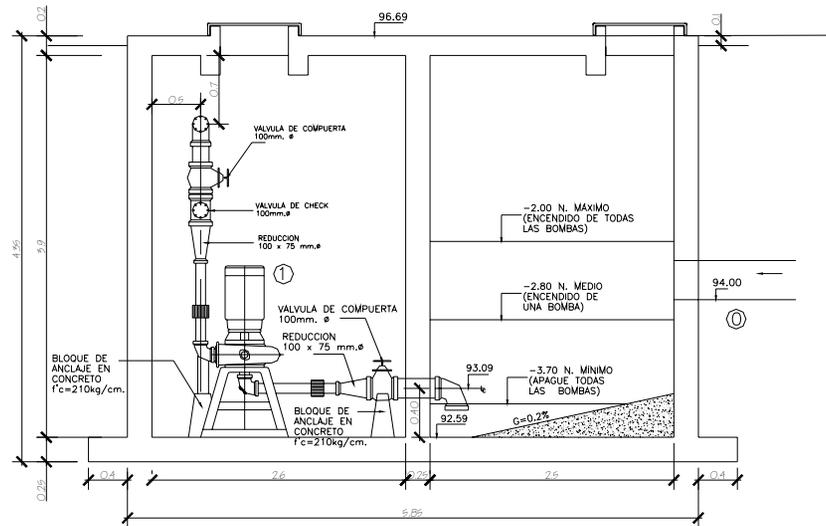
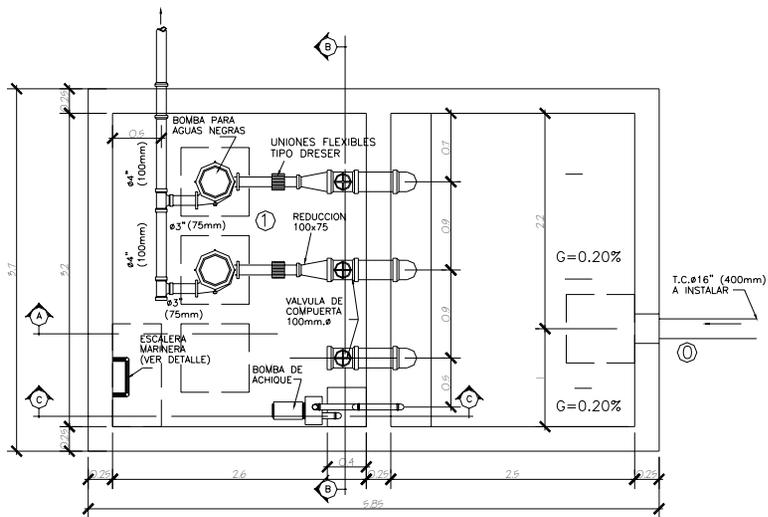


Figura 31. Planta y corte en elevación de la estación de bombeo

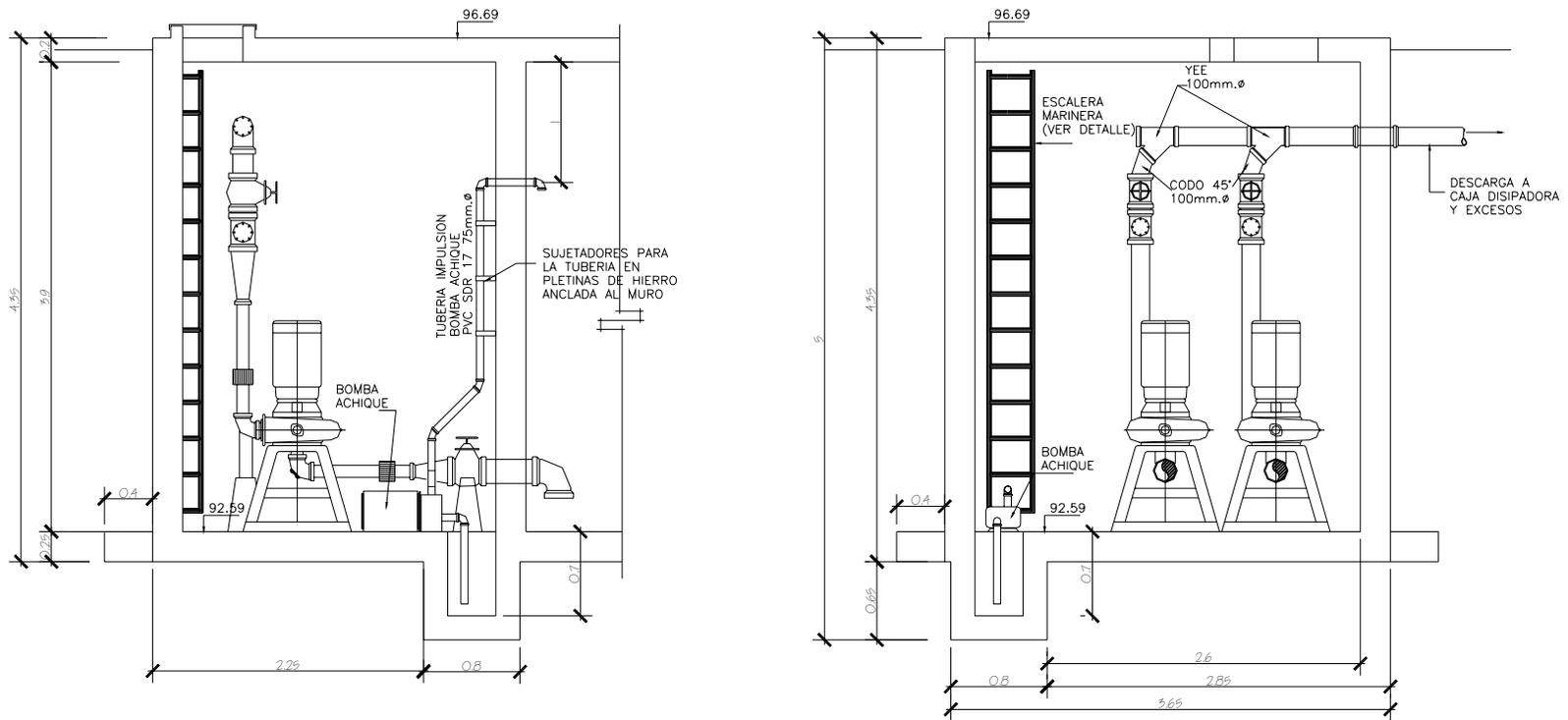
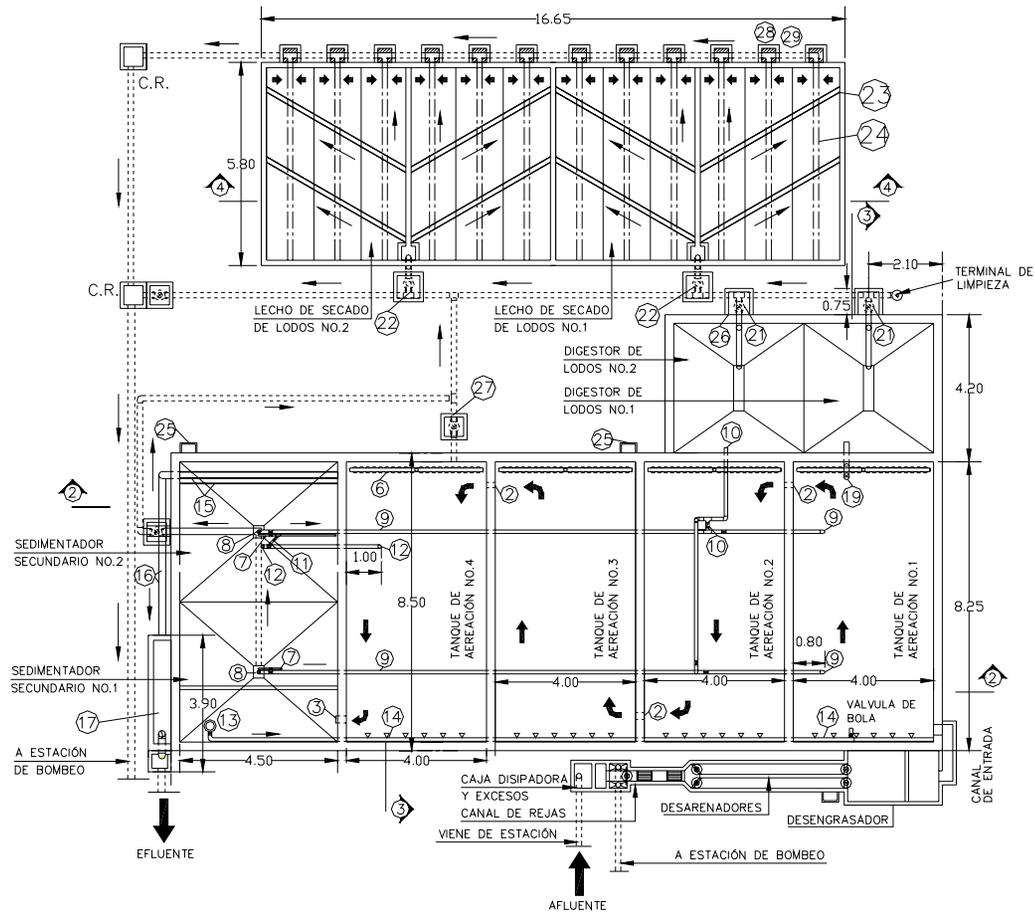


Figura 32. Cortes transversales en elevación de la estación de bombeo



PLANTA GENERAL

Figura 33. Vista en planta de la planta de tratamiento de lodos activados

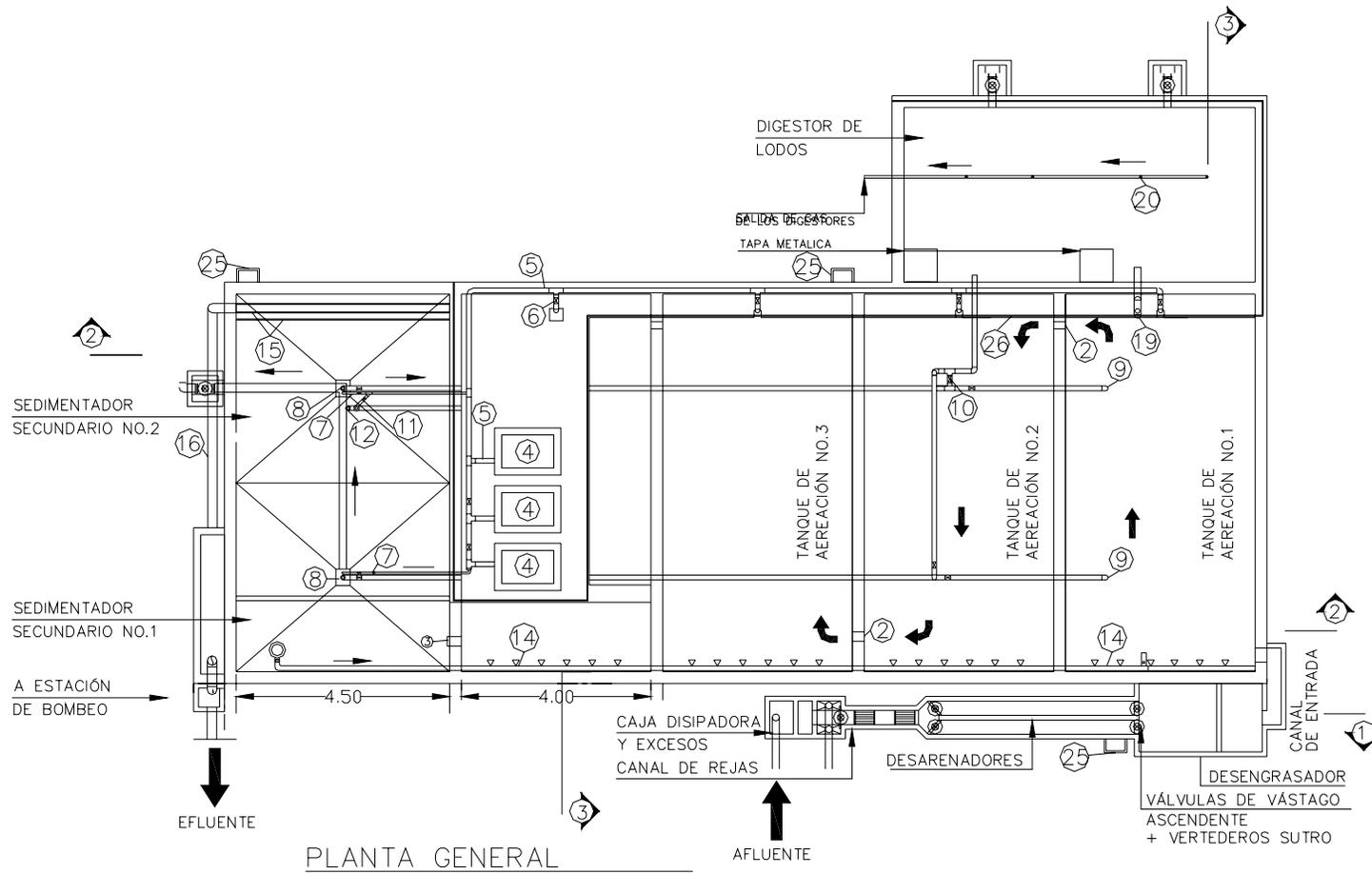


Figura 34. Vista superior de la planta de tratamiento de lodos activados, incluyendo equipo de aireación

Tabla XXXI. Listado de las partes de la planta de tratamiento

No.	DESCRIPCIÓN
0	COLECTOR DE AGUA CRUDA A LA PLANTA DE TRATAMIENTO.T.C. ø16" 400 mm DE DIAMETRO, GRADIENTE = 2.0%
1	ESTACIÓN DE BOMBEO. 2 BOMBAS SUMERGIBLES PARA AGUAS RESIDUALES DE 2HP, 220 VOLTIOS, MONOFÁSICA. (PARA SUCCIONAR SÓLIDOS MAX ø 1) + 1 BOMBA DE ACHIQUE PARA LIMPIEZA DE ESTACIÓN DE BOMBEO
2	DOS NIPLES DE PVC SDR 17, 200 mm DE DIAMETRO, SUPERIOR E INFERIOR, EN MUROS DE TANQUES DE AIREACIÓN ACTUANDO COMO ORIFICIOS DE INTERCONEXION ENTRE TANQUES.
3	NIPLE DE PVC SDR 17 Y CODO 45°, 200 mm DE DIÁMETRO, ACTUANDO COMO ORIFICIO DE INTERCONEXIÓN ENTRE EL ÚLTIMO COMPARTIMIENTO DEL TANQUE DE AIREACIÓN Y EL SEDIMENTADOR SECUNDARIO
4	3 EQUIPOS MOTOR-SOPLANTE ( DOS DE OPERACION Y UNO DE REPOSICION ) CUBIERTA DE FIBRA DE VIDRIO CON APOYO DE HIERRO, ACOPLER FLEXIBLES PARA LA TUBERIA DE DESCRAGA DE ALIVIO DE PRESION, PANEL DE CONTROL AUTOMATICO PARA OPERAR EL MOTOR Y SUMINISTRO DE AIRE A SISTEMAS DE AIREACION Y BOMBEO, "TIMER" PARA REGULACION DE HORAS DE FUNCIONAMIENTO, TODO LO ANTERIOR IGUAL A LOS SOPLADORES ROTATORIOS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO (BLOWER 56) ACOPLADO A UN MOTOR ELECTRICO HORIZONTAL, 110/220 DE 7.5 HP CON UN SILENCIADOR EQUIPOS ACCESORIOS LOS CITADOS EN LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS.
5	TUBERIA PARA CONDUCCIÓN DE AIRE, DESDE EL COMPRESOR A LAS LÍNEAS DE DIFUSORES DE FONDO EN EL TANQUE DE AIREACIÓN. INCLUYE: TUBERÍA ROSCADO AL FINAL DE LA TUBERÍA PRINCIPAL EN HG, CÉDULA 40, 100 mm, UNIONES ROSCADAS, CON TAPÓN
6	TUBERIAS DE DERIVACIÓN EN HG CÉDULA 40 UNIONES ROSCADAS, 38.5 mm DE LA TUBERÍA PRINCIPAL A LA TUBERÍA DE DIFUSORES DE FONDO; VÁLVULAS DE GLOBO EN BRONCE EN CADA DERIVACIÓN; MANÓMETRO CON VÁLVULA, 144 DIFUSORES DE AIRE, LOS CUALES SE ADQUIRIRÁN CON EL EQUIPO COMPLETO DE MONTAJE DE DIFUSORES, COMPRESOR, ETC.
7	TUBERIAS DE CONDUCCIÓN DE AIRE A BOMBAS DE AIRE TIPO JET, EN LOS SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DE LODOS Y CONTROL DE NATAS EN SEDIMENTADOR SECUNDARIO. TUBERIA DE HG 38.5 mm DE DIÁMETRO, UNIONES ROSCADAS Y VÁLVULAS DE GLOBO EN BRONCE DE 38.5 mm DE DIÁMETRO. MANÓMETRO CON VÁLVULA
8	TUBERIA DE RECIRCULACIÓN DE LODOS DE SEDIMENTADOR SECUNDARIO A TANQUE DE AIREACIÓN. HG CEDULA 40, 75 mm, UNIONES ROSCADAS CON VÁLVULAS DE COMPUERTA DE BRONCE, DE 75 mm. SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE SUMINISTRO DE AIRE, IGUAL A LOS SOPLADORES ROTATORIOS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO 56, ACOPLADO CON MOTOR ELÉCTRICO 110/220.
9	TUBERIA DE IMPULSIÓN DE LODOS RECIRCULADOS DE SEDIMENTADOR SECUNDARIO A TANQUE DE AIREACIÓN. HG CÉDULA 40, 75 mm DE DIÁMETRO, UNIONES ROSCADAS CON VÁLVULAS DE COMPUERTA DE BRONCE DE 75 mm DE DIÁMETRO.
10	TUBERIA DE DERIVACIÓN DE LODOS PURGADOS A PARTIR DE LAS TUBERÍAS DE RECIRCULACIÓN DE LODOS, AL BIODIGESTOR DE LODOS, HG CÉDULA 40 75 mm DE DIÁMETRO, UNIONES ROSCADAS, VÁLVULAS DE COMPUERTA, EN BRONCE, DE 75 mm DE DIÁMETRO.
11	TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN DE AIRE A BOMBA DE AIRE, EN EL SISTEMA DE CONTROL DE NATAS DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO (SUCCIÓN DE NATAS DE LA SUPERFICIE). TUBERIA DE HG 38.5mm DE DIÁMETRO, UNIONES ROSCADAS Y VÁLVULAS DE GLOBO EN BRONCE DE 38.5 mm DE DIÁMETRO Y YEE DE DERIVACIÓN EN EL MISMO DIÁMETRO. MANÓMETRO CON VÁLVULA
12	CORONA DE SUCCIÓN DE NATAS DE LA SUPERCIE DEL AGUA DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO; SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE SUMINISTRO DE AIRE, IGUAL AL MODELO 240, "AIR LIFT PUMP SYSTEM" DE LA JET INC, EL CUAL SERÁ ADQUIRIDO CON EL SISTEMA COMPLETO DE AIREACIÓN Y TUBERÍA DE IMPULSIÓN DE NATAS. TODO LO ANTERIOR EN TUBERÍA HG CÉDULA 40 DE 75mm DE DIÁMETRO, UNIONES ROSCADAS.

No.	DESCRIPCIÓN
13	MOTO-BOMBA DEL TIPO SUMERGIBLE, PARA LA IMPULSIÓN DE AGUAS SEDIMENTADAS AL SISTEMA DE CONTROL DE ESPUMA EN TANQUES DE AIREACIÓN. ESTE EQUIPO VIENE INCLUIDO DENTRO DEL PAQUETE DE AIREACIÓN AL SER ADQUIRIDO PARA EL SISTEMA DE AIREACIÓN.
14	TUBERÍA DE IMPULSIÓN DE AGUAS DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO PARA ALIMENTACIÓN DE LOS ASPERSORES QUE CONTROLAN LA ESPUMA EN LOS TANQUES DE AIREACIÓN. TUBERÍA HG CÉDULA 40, 75mm DE DIÁMETRO, UNIONES ROSCADAS. LOS ASPERSORES SE ADQUIEREN COMO PARTE DEL EQUIPO COMPLETO DE AIREACIÓN OFRECIDO POR EL FABRICANTE
15	VERTEDERO DE SALIDA DEL AGUA DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO, DE FABRICACIÓN EN ALUMINIO, Y DEL TIPO DENTADO, CON PANTALLA DEFLECTORA. ESTE EQUIPO VIENE INCLUIDO DENTRO DEL PAQUETE DE EQUIPO A SER ADQUIRIDO PARA EL SISTEMA DE AIREACIÓN MODELO JET INC.
16	TUBERÍA DE EVACUACIÓN DE AGUAS DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO Y CONDUCCIÓN A LA UNIDAD DE RAYOS UV. PVC SDR 17, 200mm DE DIÁMETRO 3 CODOS DE 90°.
17	SISTEMA DE DESINFECCIÓN DE RAYOS UV (TROJAN 3000 PT) MODELO 3150K-PTP O SIMILAR DE CAPACIDAD DE 33 METROS CÚBICOS POR HORA
18	TUBERÍA DE EVACUACIÓN DEL AGUA TRATADA, DEL TANQUE DE RAYOS UV A POZO PV18. PVC SDR 17, 200mm DE DIÁMETRO
19	SIFÓN DE INTERCONEXIÓN ENTRE EL BIODIGESTOR DE LODOS Y EL TANQUE DE AIREACIÓN PARA CONDUCCIÓN DE SOBRENADANTE DEL BIODIGESTOR. PVC SDR 17, 150mm DE DIÁMETRO
20	TUBERÍA DE EVACUACIÓN DE GASES DEL BIODIGESTOR DE LODOS Y DESCARGA A LA ATMÓSFERA. HG CÉDULA 40, 75mm DE DIÁMETRO, UNIONES ROSCADAS, NIPLES EN LOSA SUPERIOR DE TANQUE DE BIODIGESTION, CODOS Y TEES MISMO DIÁMETRO Y MATERIAL. L=30m. ARRIOSTRADA AL EDIFICIO EXISTENTE
21	TUBERÍA DE EVACUACIÓN DE LODOS ESTABILIZADOS, DESDE EL BIODIGESTOR DE LODOS A LECHOS DE SECADO. TUBERÍA PVC, SDR 17, 150mm DIÁMETRO CON 2 VÁLVULAS DE COMPUERTA HD, EN EL MISMO DIÁMETRO. UNIONES TEE EN PVC MISMO DIÁMETRO
22	TUBERÍA DE CONDUCCIÓN DE LODOS ESTABILIZADOS A LECHOS DE SECADO. PVC SDR 17, 150mm DE DIÁMETRO, CON 3 VÁLVULAS DE COMPUERTA HD, EN EL MISMO DIÁMETRO. UNIONES TEE EN PVC MISMO DIÁMETRO Y CODOS 90° PARA INTERCONEXIONES A TUBERÍA DE LIMPIEZA DE TANQUES DE AIREACIÓN. CONTARÁ CON UN TERMINAL DE LIMPIEZA CONSTITUIDO DE UN CODO DE 90° PVC, 150mm DE DIÁMETRO Y TAPÓN ROSCADO EL MISMO MATERIAL E IGUAL DIÁMETRO
23	CANALETAS MEDIA CAÑA EN CONCRETO, 100mm DE DIÁMETRO, GRADIENTE = 0.50% JUNTAS ABIERTAS PARA DISTRIBUCIÓN SOBRE LECHOS DE SECADO.
24	TUBERÍA DE DRENAJE (SUBDREN DE LECHOS DE SECADO). TUBERÍA CONCRETO PERFORADA O PVC PARA DRENAJE CONVENCIONAL (SIEMPRE QUE SOPORTE LA SOBRECARGAS SUPERIORES) EN 100mm DE DIÁMETRO, GRADIENTE =0.50% HASTA CAJAS DE REGISTRO QUE INTERCONECTAN A COLECTOR.
25	ESCALERAS EN TUBERÍA DE HG CÉDULA 40, 38.5mm DE DIÁMETRO, PINTADA CON TRES MANOS DE ANTICORROSIVO
26	BARANDA EN TUBERÍA DE HG CÉDULA 40, 38.5mm DE DIÁMETRO, 0.90 m DE ALTURA PINTADA CON TRES MANOS DE ANTICORROSIVO. CON LAS UNIONES ROSCA-BRIDA EN HIERRO GALVANIZADO Y UNIONES ENTRE PIEZAS HORIZONTALES Y VERTICALES SOLDADAS.
27	TUBERÍA DE LIMPIEZA DE TANQUE DE AIREACIÓN A CAJA DE REGISTRO 1, PVC SDR 17, 150mm DE DIÁMETRO Y VÁLVULA DE COMPUERTA EN HF UNIONES A BRIDAS, 2 CODOS DE 90° Y TEE TODO EN 150mm DE DIÁMETRO. INTERCONEXIÓN DE TUBERÍA DE LIMPIEZA DE LODOS (ELEMENTO NÚMERO 22)
28	CAJAS DE RECOLECCIÓN DE LIXIVIADOS DE LECHO DE SECADO DE LODOS
29	TUBERÍA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS SUBTERRANEAS DEL SUBDRENAJE DE LOS LECHOS DE DESAGUADO O SECADO. PVC SDR 41, 150mm DE DIÁMETRO Y GRADIENTE = 0.50%

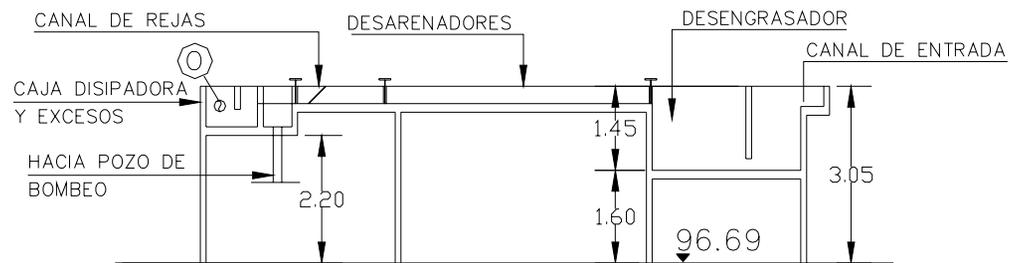


Figura 35. Corte sección pretratamiento

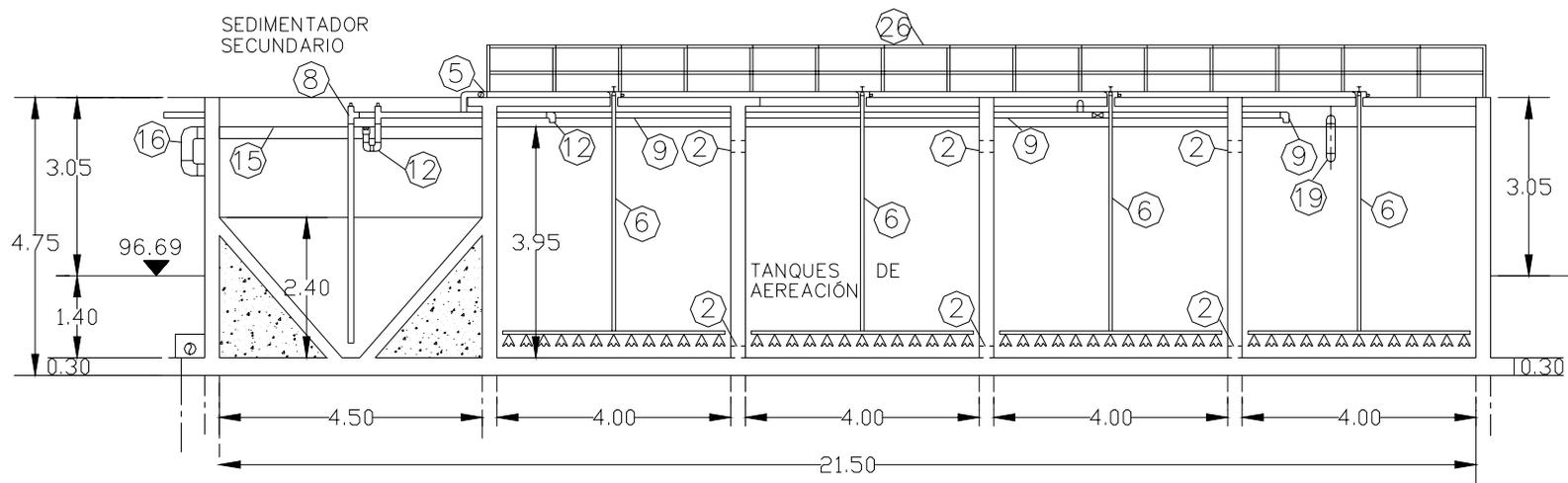


Figura 36. Corte sección aireadores y sedimentador secundario

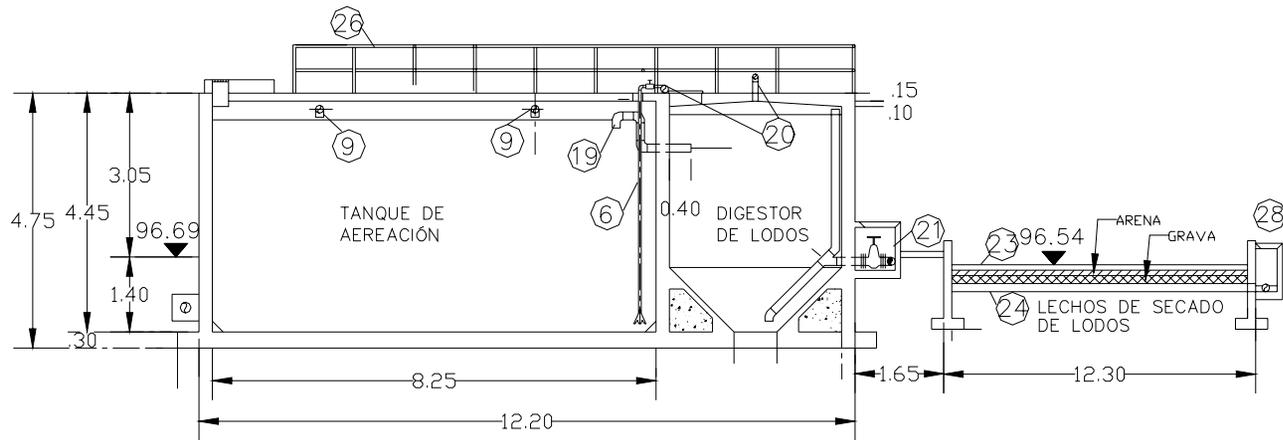


Figura 37. Corte sección aireador y digester de lodos

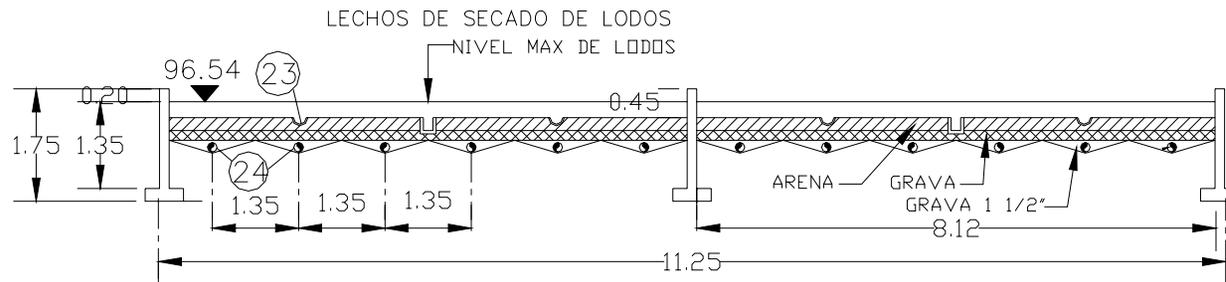
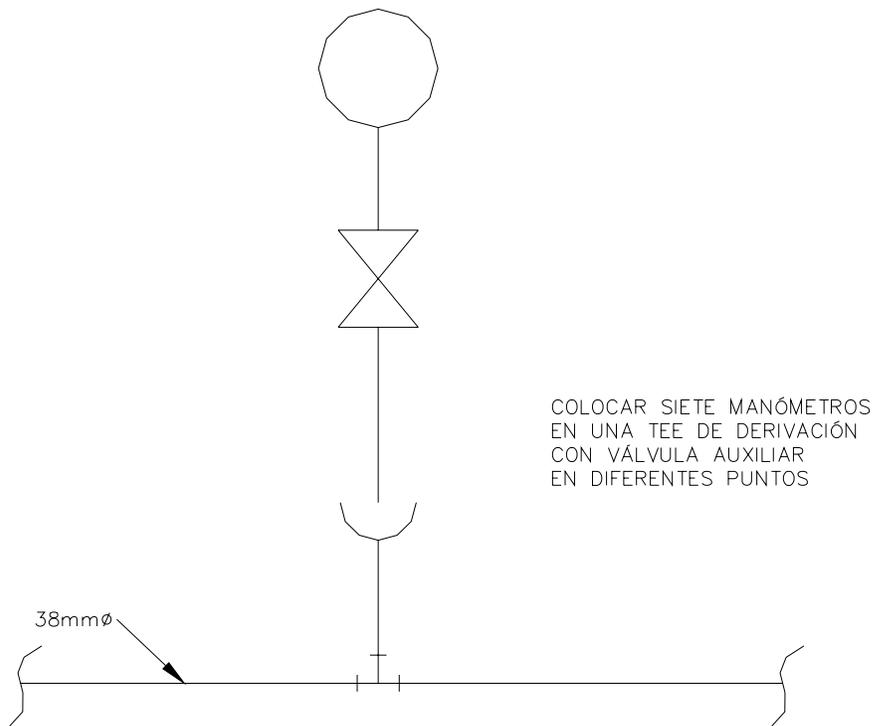


Figura 38. Corte sección lecho de secado de lodos



## DETALLE INSTALACIÓN DE MANÓMETROS EN TUBERÍA DE AIRE

### NOTAS

- 1- LOS DIÁMETROS DE LAS TUBERÍAS DE AIRE E IMPULSIÓN DE LODOS, SON APROXIMADOS Y RIGEN LAS ESPECIFICACIONES DEL FABRICANTE DEL EQUIPO DE AIRECIÓN E INGENIERO INSPECTOR
- 2- TODA TUBERÍA DE DERIVACIÓN DE AIRE DEBERÁ CONTAR CON MANÓMETRO Y VÁLVULA, SEGÚN SE INDICA EN ESTA LÁMINA.

Figura 39. Detalle de trampa de instalación de manómetros en tubería de aire y notas adicionales para la construcción

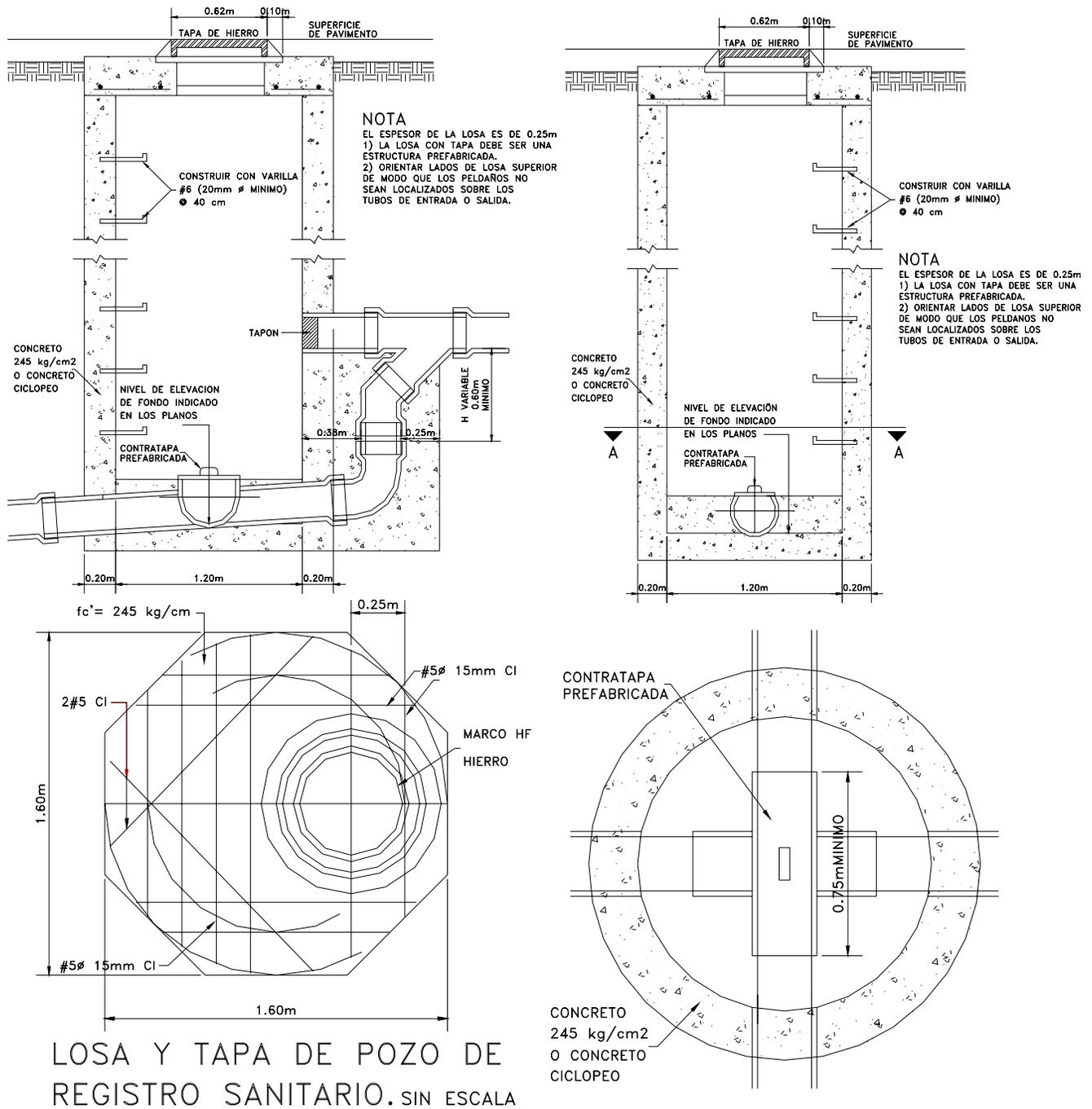


Figura 40. Detalle de pozo de registro circular para aguas residuales y notas adicionales para la construcción



### **12.3. Anexo No. 3: presupuesto de la planta de tratamiento y otras mejoras al sistema de evacuación de aguas**



Tabla XXXII. Presupuesto detallado de la planta de tratamiento y otras mejoras al sistema evacuación de aguas del hospital

**Tipo de cambio Q/\$: Q7,60/\$ (18 de marzo de 2006)**

No.	Descripción	Cantidad	U	Precio		
				Unitario	Sub total	Total
<b>1</b>	<b>Obras preliminares (bodega, traslado de equipo y otros)</b>	1	global	Q5 250,00	Q5 250,00	<b>Q5 250,00</b>
<b>2</b>	<b>Pretratamiento aguas de lavandería</b>					<b>Q26 806,37</b>
	Pozos de registro cuadrado 0,95m X 0,95mX1,56					
	Metro básico (tapa + fondo + 1m de pared)	1	m	Q1 289,91	Q1 289,91	
	Metro adicional (1m de pared)	0,56	m	Q 633,18	Q354,58	
	Caseta para equipo dosificador de ácido sulfúrico y contenedor de ácido					
	Paredes de bloques de concreto de (12X20X40)	14,96	m <sup>2</sup>	Q 270,00	Q4 039,20	
	Puerta metálica (0,90X2,10)	1	U	Q 950,00	Q950,00	
	Ventilas	1	U	Q 380,00	Q380,00	
	Equipo (recipiente de ácido sulfúrico, medidor de pH en línea bomba de dosificación y canaleta de dosificación)	1	global	Q 19792.68	Q19,792.68	
<b>3</b>	<b>Línea de conducción Ø 0,60m concreto</b>	34,7	m	Q 240,00	Q8 328,00	<b>Q8 328,00</b>
<b>4</b>	<b>Pozos de registro cuadrado 1,5m X 1,5m</b>					<b>Q5 167,80</b>
	Metro básico (tapa + fondo + 1m de pared)	1	m	Q 2 227,50	Q2 227,50	
	Metro adicional (1m de pared)	2,7	m	Q 1 089,00	Q2 940,30	
<b>5</b>	<b>Pozos de registro circular de 1,20m diámetro externo</b>					<b>Q2 818,27</b>
	Metro básico (tapa + fondo + 1m de pared)	1	m	Q1 625,34	Q1 625,34	
	Metro adicional (1m de pared)	1,65	m	Q 722,99	Q1 192,93	
<b>6</b>	<b>Estación de bombeo</b>					<b>Q89 849,01</b>
	Excavación	94,16	m <sup>3</sup>	Q 70,00	Q6 591,20	
	Losa de fondo	21,65	m <sup>2</sup>	Q 330,00	Q7 144,50	
	Paredes	96,57	m <sup>2</sup>	Q 360,00	Q34 765,20	
	Losa superior	21,65	m <sup>2</sup>	Q 340,00	Q7 361,00	
	Escalera	3,9	m	Q 75,00	Q292,50	
	Tapas de registro	2	U	Q 450,00	Q900,00	
	Equipo (2 bombas de 2HP más control eléctrico)	2	U	Q10 831,06	Q21 662,12	
	Tubería de descarga HG Ø3" (7,5 cm ) pared gruesa	13,05	m	Q 159,17	Q2 077,17	

No.	Descripción	Cantidad	U	Precio		
				Unitario	Sub total	Total
	Tubería de descarga PVC Ø3" (7,5 cm) SDR 17	6,21	m	Q 69,99	Q434,64	
	Codos HG 90° Ø3" (7,5 cm) presión	7	U	Q 76,00	Q532,00	
	Tee HG Ø3" (7,5 cm) presión	2	U	Q 107,50	Q215,00	
	Unión dreser Ø3" (7,5 cm)	6	U	Q 250,00	Q1 500,00	
	Uniones flexibles de Ø3" (7,5 cm)	2	U	Q 300,00	Q600,00	
	Codos PVC 90° Ø3" (7,5 cm) presión	2	U	Q 75,68	Q151,36	
	Válvula chek Ø3" (7,5 cm)	2	U	Q 450,00	Q900,00	
	Válvula de compuerta Ø3" (7,5 cm)	2	U	Q 536,16	Q1 072,32	
	Cajas de válvulas	2	U	Q 700,00	Q1 400,00	
	Caseta de control y tableros	1	U	Q 2250,00	Q2 250,00	
<b>7</b>	<b>Caja disipadora y excesos</b>					<b>Q4 006,91</b>
	Losa de fondo	2,22	m <sup>2</sup>	Q 255,00	Q566,10	
	Paredes	7,2	m <sup>2</sup>	Q 180,00	Q1 296,00	
	Compuerta de salida	1	U	Q 150,00	Q150,00	
	Tubería de rebalse y limpieza a estación de bombeo Ø3" (7,5 cm) sanitaria	14,65	m	Q 25,00	Q366,25	
	Codos PVC 90° Ø3" (7,5 cm)	3	U	Q 75,68	Q227,04	
	Tee PVC Ø3" (7,5 cm)	2	U	Q 82,68	Q165,36	
	Válvula de compuesta de limpieza Ø3" (7,5 cm)	1	U	Q 536,16	Q536,16	
	Cajas de válvulas	1	U	Q 700,00	Q700,00	
<b>8</b>	<b>Canal de rejas</b>					<b>Q828,40</b>
	Losa de fondo	0,68	m <sup>2</sup>	Q 255,00	Q173,40	
	Paredes	2,25	m <sup>2</sup>	Q 180,00	Q405,00	
	Rejas finas con varilla de Ø3/8" (0,95 cm) y espacio entre varilla de 3/8" (0,95 cm)	1	U	Q 250,00	Q250,00	
<b>9</b>	<b>Desarenador</b>					<b>Q3 276,00</b>
	Losa de fondo	4,1	m <sup>2</sup>	Q 255,00	Q1 045,50	
	Paredes	4,1	m <sup>2</sup>	Q 180,00	Q738,00	
	Compuerta de salida	4	U	Q 150,00	Q600,00	
	Vertederos Sutro	2	U	Q 300,00	Q600,00	
	Escalera	3,9	m	Q 75,00	Q292,50	
<b>10</b>	<b>Trampa de grasas</b>					<b>Q4 734,97</b>
	Losa de fondo	4,34	m <sup>2</sup>	Q 255,00	Q1 106,70	
	Paredes	10,9	m <sup>2</sup>	Q 180,00	Q1 962,00	
	Tubería sanitaria a estación de bombeo de limpieza Ø3" (7,5 cm)	11,15	m	Q 25,00	Q278,75	
	Codos PVC 90° Ø3" (7,5 cm)	2	U	Q 75,68	Q151,36	
	Válvula de compuesta de limpieza Ø3" (7,5 cm)	1	U	Q 536,16	Q536,16	
	Cajas de válvulas	1	U	Q 700,00	Q700,00	
<b>11</b>	<b>Canal de entrada a la planta</b>					<b>Q317,55</b>

No.	Descripción	Cantidad	U	Precio		
				Unitario	Sub total	Total
	Losa de fondo	0,73	m <sup>2</sup>	Q 255,00	Q186,15	
	Paredes	0,73	m <sup>2</sup>	Q 180,00	Q131,40	
<b>12</b>	<b>Paredes de soporte de pretratamiento</b>					<b>Q791,70</b>
	Pared de concreto de 0,15m de espesor	2,34	m <sup>2</sup>	Q 255,00	Q596,70	
	Placa de fundación (0,80X0,90X0,20)	0,78	m <sup>2</sup>	Q 250,00	Q195,00	
<b>13</b>	<b>Aireadores</b>					<b>Q445 698,20</b>
	Excavación	242,76	m <sup>3</sup>	Q 70,00	Q16 993,20	
	Losa de fondo	142,8	m <sup>2</sup>	Q 450,00	Q64 260,00	
	Paredes	329,3	m <sup>2</sup>	Q 300,00	Q98 790,00	
	Losa pasarelas	30,52	m <sup>2</sup>	Q 255,00	Q7 782,60	
	Equipo (3 sopladores tipo Blowers, Tubería para aire, 144 difusores)	1	global	Q240 000,00	Q240 000,00	
	Tubería de limpieza PVC SDR 17 Ø6" (15,0 cm)	19,1	m	Q 548,33	Q10 473,10	
	Codos PVC 90° Ø6" (15,0 cm)	2	U	Q 300,00	Q600,00	
	Tee PVC 90° Ø6" (15,0 cm)	4	U	Q 350,00	Q1 400,00	
	Válvula de compuesta de limpieza Ø6" (15,0 cm)	1	U	Q1 450,00	Q1 450,00	
	Cajas de válvulas	1	U	Q 700,00	Q700,00	
	Escalera	3,9	m	Q 75,00	Q292,50	
	Baranda con tubo HG de 38.5mm de diámetro	42,24	m	Q 70,00	Q2 956,80	
<b>14</b>	<b>Sedimentadores</b>					<b>Q104 375,00</b>
	Excavación	67,12	m <sup>3</sup>	Q 70,00	Q4 698,40	
	Losa de fondo	39,48	m <sup>2</sup>	Q 450,00	Q17 766,00	
	Paredes	131,66	m <sup>2</sup>	Q 300,00	Q39 498,00	
	Relleno de concreto pobre 105 kg/cm <sup>2</sup>	32,64	m <sup>3</sup>	Q 600,00	Q19 584,00	
	Canal de salida	4,5	m	Q 257,00	Q1 156,50	
	Tubería de salida Ø8" (20,0 cm) SDR17	6,75	m	Q 593,86	Q4 008,53	
	Codos PVC 90° Ø8" (20,0 cm)	3	U	Q 500,00	Q1 500,00	
	Tubería de limpieza PVC SDR 17 Ø6" (15,0 cm)	20,92	m	Q 548,33	Q11 471,06	
	Codos PVC presión 90° Ø6" (20,0 cm)	4	U	Q 300,00	Q1 200,00	
	Tee PVC presión 90° Ø6" (20,0 cm)	3	U	Q 350,00	Q1 050,00	
	Válvula de compuesta de limpieza Ø6" (20,0 cm)	1	U	Q1 450,00	Q1 450,00	
	Cajas de válvulas	1	U	Q 700,00	Q700,00	
	Escalera	3,9	m	Q 75,00	Q292,50	
<b>15</b>	<b>Digestores</b>					<b>Q70 587,88</b>
	Excavación	49,06	m <sup>3</sup>	Q 70,00	Q3 434,20	
	Losa de fondo	28,86	m <sup>2</sup>	Q 450,00	Q12 987,00	

No.	Descripción	Cantidad	U	Precio		
				Unitario	Sub total	Total
	Paredes	92,8	m <sup>2</sup>	Q 300,00	Q27 840,00	
	Relleno de concreto pobre 105 kg/cm <sup>2</sup>	8,29	m <sup>3</sup>	Q 600,00	Q4 974,00	
	Losa superior	28,86	m <sup>2</sup>	Q 255,00	Q7 359,30	
	Tubería de limpieza PVC SDR 17 Ø6" (15,0 cm)	18,62	m	Q 548,33	Q10 209,90	
	Codos PVC 90° Ø6" (15,0 cm)	3	U	Q 300,00	Q900,00	
	Tee PVC presión 90° Ø6" (15,0 cm)	2	U	Q 350,00	Q700,00	
	Válvula de compuerta de limpieza Ø6" (15,0 cm)	1	U	Q1 450,00	Q1 450,00	
	Cajas de válvulas	1	U	Q 700,00	Q700,00	
	Tapón con rosca Ø6" (15,0 cm)	1	U	Q 33,48	Q33,48	
<b>16</b>	<b>Salida de gases de los digestores</b>					<b>Q1 301,90</b>
	Tubería HG cédula 40 3"Ø (7,5cm)	9,65	m	Q 69,99	Q675,40	
	Codo HG 90° 3"Ø (7,5cm)	4	U	Q 76,00	Q304,00	
	Tee HG Ø3" (7,5cm)	3	U	Q 107,50	Q322,50	
<b>17</b>	<b>Patio de secado</b>					<b>Q40 028,00</b>
	Excavación	49,25	m <sup>3</sup>	Q 70,00	Q3 447,50	
	Paredes de block 15X20X40 cm	37,99	m <sup>2</sup>	Q 300,00	Q11 397,00	
	Arena	21,44	m <sup>3</sup>	Q 70,00	Q1 500,80	
	Grava	16,08	m <sup>3</sup>	Q 90,00	Q1 447,20	
	Cuneta Ø4" (10,0 cm) con junta abierta	48,4	m	Q 10,00	Q484,00	
	Tubería perforada para lixiviados PVC SDR 41 Ø6" (15,0 cm)	69,6	m	Q 187,50	Q13 050,00	
	Tubería PVC SDR 41 Ø6" (15,0 cm)	9,74	m	Q 175,00	Q1 704,50	
	Codos PVC sanitarios 90° Ø6" (15,0 cm)	2	U	Q 50,00	Q100,00	
	Tee PVC sanitarios Ø6" (15,0 cm)	1	U	Q 65,00	Q65,00	
	Cajas de registro 0,75X0,75	1	U	Q 700,00	Q700,00	
	Cajas de registro 0,60X0,60	14	U	Q 438,00	Q6 132,00	
<b>18</b>	<b>Desinfección con rayos uv</b>					<b>Q318 131,95</b>
	Equipo desinfección rayos uv	1	U	Q317 011,20	Q317 011,20	
	Excavación	1,39	m <sup>3</sup>	Q 70,00	Q97,30	
	Losa de fondo	2,15	m <sup>2</sup>	Q 255,00	Q548,25	
	Paredes	2,64	m <sup>2</sup>	Q 180,00	Q475,20	
<b>19</b>	<b>Descarga a colector (desinfección rayos uv a colector)</b>					<b>Q2 481,58</b>
	Tubería PVC SDR 41 Ø8" (20,0 cm)	3	m	Q 593,86	Q1 781,58	
	Caja de registro	1	U	Q 700,00	Q700,00	
<b>20</b>	<b>Tubería de drenaje para purga y limpieza (aireador + sedimentador + digestor)</b>					<b>Q10 590,73</b>
	Tubería PVC SDR 17 Ø6"	9,74	m	Q 548,33	Q5 340,73	
	Codos PVC presión 90° Ø6"	2	U	Q 300,00	Q600,00	

No.	Descripción	Cantidad	U	Precio		
				Unitario	Sub total	Total
	Tee PVC presión Ø6" (15,0 cm)	1	U	Q 350,00	Q350,00	
	Válvula de compuesta de limpieza Ø6" (15,0 cm)	2	U	Q1 450,00	Q2 900,00	
	Cajas de válvulas	2	U	Q 700,00	Q1 400,00	
<b>21</b>	<b>Tubería de limpieza a descargar en estación de bombeo (aireador + sedimentador + digestor + dren de lecho de secado)</b>					<b>Q5 813,50</b>
	Tubería PVC SDR 41 Ø6" (15,0 cm)	25,22	m	Q 175,00	Q4 413,50	
	Cajas de registro 0,75X0,75	2	U	Q 700,00	Q1 400,00	

Gran total **Q1 151 183,73**



## **12.4. Anexo No. 4: equipo por colocar en la planta de tratamiento**



# Analizador de pH en Línea HACH GLI



Figura 41. Equipo analizador de pH en línea y electrodo

Dimensiones Reales: 10,5 X 12,5 X 0,9 cm.

Electrodo: 15 x 3,5 cm.

Tabla XXXIII. Características del equipo analizador de pH en línea

Modelo	P53A2A1N
Número de entradas para sensor	2
Display	LCD
Salidas	Dos 0/4-20mA
Medición	Continúa
Alarmas	4
Protocolo	RS-232 y Hart
Rango	-2.00 a 14.00
Rango ORP	-2 100- + 2 100 mV
Rango temperatura	-20.0 a 200° C.
Electrodo (sensor) combinación, cuerpo de Ryton* con 15 pies de cable.	<b>PC1R1A</b>

\* Ryton: es el plástico de mayor resistencia que existe en el mercado.

# Bomba dosificador de ácido sulfúrico

## BLACKTONE DOSING PUMPS



Figura 42. Bomba para dosificación de ácido sulfúrico

Blackstone Dosing Pumps (BL 1.5, 3, 7 ,10, 15, 20)  
Wide range available for specific dosing needs

### *Highly accurate*

Supplied with discharge and suction valves

Blackstone's positive displacement solenoid driven pumps use a minimum number of moving parts, therefore reducing the chance of mechanical failure. Part wear and oiling associated with motor driven pumps (ball-bearings, gear drives and cams) are not present in these pumps. Blackstone pumps are more accurate than standard pumps with the positive displacement design ensuring each stroke is identical to the strokes before and after it, thus keeping the flow rate constant. A wide range of Blackstone pumps with different dosing capacities is available for your specific dosing needs. Each pump is supplied with discharge and suction valves. HANNA instruments® also produces polyethylene tubing, injection fittings, ceramic weights and replacement parts.

All BlackStone Series Pumps are supplied with discharge and suction valves, polyethylene tubing, power supply and instructions.

Tabla XXXIV. Características de la bomba para dosificar ácido sulfúrico

Small Diaphragm					
BL 5	1.3	5	101.5	7	120
BL 3	0.8	2.9	116	8	120
BL 1.5	0.4	1.5	188.5	13	120

## Sopladores de aire tipo Blower

Sopladores rotatorios de desplazamiento positivo 56 acoplado a motor eléctrico horizontal 110/220 de 7.5 Hp, con un silenciador y su filtro, todo esto protegido por un albergue de fibra de vidrio con apoyo de hierro.



Figura 43. Aireadores tipo *Blower* a colocar en la planta de tratamiento propuesta

# Difusor de aire - difusor de burbuja gruesa

Air seal Diffusers.

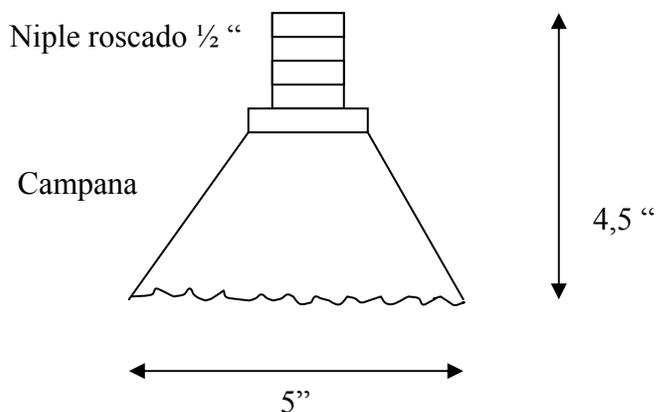


Figura 44. Difusores tipo de aire – difusor membrana de burbuja gruesa a colocar en la planta de tratamiento propuesta

Descripción: el difusor de burbuja gruesa tiene la finalidad de distribuir el aire desde la parte baja del compartimiento de aireación en forma de burbujas gruesas a efecto de que estas tengan mayor contacto con las aguas servidas y los microorganismos puedan proveerse de este elemento vital para su vida y reproducción.

Es de PVC con conector de 1/2", su campana es de 5 pulgadas y un alto total 4,5 pulgadas.

Su eficiencia de transmisión de aire se define por la profundidad de descarga, así, a mayor profundidad, mayor eficiencia de acuerdo con el cuadro siguiente:

Profundidad (pies)	pies cúbicos x minuto	eficiencia absorción oxígeno
14	9,5	85
11	9,5	65
5	9,5	40

# Equipo de bombeo para succionar aguas residuales

## WHRH SERIES

**2" Solids Handling Residential and Commercial Sewage and Effluent Pumps**

**HIGHER HEADS FOR DEMANDING APPLICATIONS.**

- Domestic wastewater and septic systems.
- Light commercial sewage.
- High capacity fluid transfer.
- UL, CSA and ETL listed.

**DURABLE MOTOR FOR LONG-LASTING PERFORMANCE.**

- 1/2, 1, 1-1/2 & 2 HP models.
- Oil-filled for cooler operation, constant bearing lubrication.
- Single phase PSC motors eliminate starting switches.
- Recessed impeller reduces radial loads, increases bearing life.
- Thermal overload protection with automatic reset.



### PRODUCT CAPABILITIES

Capacities To	130 GPM	492 LPM
Shut-Off Head	70 ft.	20.9 m
Solids Handling	2 in.	50.8 mm
Liquids Handling	raw sewage and sewage effluent	
Intermittent Liquid Temp.	up to 140°F	up to 60°C
Motor	1/2, 1, 1-1/2 & 2 hp, 3450 rpm	
Electrical	208/230 volts, 1 ph, 60 Hz PSC; 208/230/460 volts, 3 ph, 60 Hz	
Acceptable pH Range	6-9	
Discharge, NPT (Optional)	2 in.	50.8 mm
	3 in.	76.2 mm
Sump Dia. Simplex	24 in.	609.6 mm
Duplex	30 in.	762.0 mm
Motor Housing	cast iron	
Volute Case	cast iron	
Impeller	ductile iron, vortex	
Power Cord	WHRH — SJOW/SJOW-A 20 ft., 16/3, 1 ph, 15 ft., 16/4, 3 ph	
Mechanical Seal	single type 21, carbon & ceramic	
Pump, Motor Shaft	416 stainless steel	

### PERFORMANCE

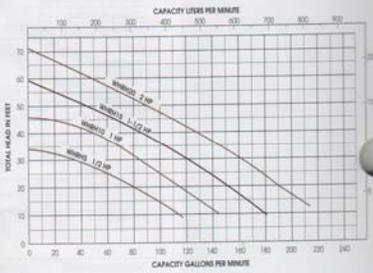


Figura 45. Equipo de bombeo propuesto para impulsar el agua residual a la planta de tratamiento propuesta

# Equipo para desinfección de aguas residuales – Rayos UV

**TROJAN UV3000**  
**HIDROTECNIA S.A.**

AVENIDA LA CASTELLANA 39-36, ZONA 8 GUATEMALA C.A.  
 www.hidrotecnia.com solution designed for economical disinfection

**STA-RITE BERKELEY**  
 SISTEMAS DE BOMBEO PARA AGUA

TELEFONOS PBX: 2472-1212 • 2364-8400 FAX: 2472-1013  
 E-mail: ventas@hidrotecnia.net

**System Monitor**  
 The optional system monitor includes a submersible sensor that monitors lamp hours and UV intensity at each bank. Elapsed time display provides continuous readout of actual hours of operation. Display is visible through the panel door. A dry contact enables a remote low UV intensity alarm.

**Fixed Weir**  
 Maintains the correct channel effluent depth over different flow-rates, with maximum height of 1.5 inches (3.8 cm) of effluent at peak flow. Equipped with a drain for easy channel cleaning. Weirs are used with both channel and weir channel options.

**SIE RHOMBUS** \* Controles y Motores Eléctricos  
**IN** \* Bombas de Acero Inoxidable  
**PULSAFEEDER** \* Dosificadores  
**SHURNO** \* Motobombas Diesel y Gasolina  
**AZUD** \* Bombas de Aplicaciones Especiales  
**AMERICAN-MARSH PUMPS** \* Sistemas de Riego  
 \* PUMPS AND PUMPS ONLY SINCE 1872 \* Turbinas Verticales

Figura 46. Equipo propuesto para desinfección de aguas residuales tratadas (sistema de rayos ultra violeta)

## **12.5. Anexo No. 5: resultados de análisis de laboratorio**



Tabla XXXV. Resultado de análisis fisicoquímicos; muestras compuestas punto No.1

		Nº de análisis:		
		1	2	4
		7/12/05	14/12/05	24/1/06
Fecha de análisis:				
Parámetro	U	Valor por muestra punto No.1		
Potencial de hidrógeno (pH)		10,47	10,64	10,14
Temperatura	°C	35,35	36,53	38,33
Color	U	15,50	13,60	30,90
Sólidos suspendidos totales	mg/l	128,00	130,00	198,00
Sólidos sedimentables	ml/l	0,80	0,50	0,80
DQO	mg/l	330,00	352,00	400,00
DBO <sub>5</sub> (20°C)	mg/l	160,00	180,00	120,00
Sustancias activas al azul de metileno (tensoactivos)	mg/l	3,24	3,40	3,50
Nitrógeno total	mg/l	4,50	5,60	3,40
Fósforo total	mg/l	0,22	0,20	0,05
Cianuros	mg/l	0,02	0,014	<0,002
Metales pesados				
Cobre	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02
Cromo	mg/l			<0,01
Zinc	mg/l	0,03	0,18	0,42
Cadmio	mg/l	0,06	0,04	0,17
Níquel	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02
Plomo	mg/l	<0,10	<0,10	<0,10

Tabla XXXVI. Resultado de análisis bacteriológicos de muestras puntuales del punto No.1

Parámetro	U	1			2			4		
		Valor coliformes	pH	Temperatura °C	Valor coliformes	pH	Temperatura °C	Valor coliformes	pH	Temperatura °C
Coliformes totales (B-1)	NMP/100cm <sup>3</sup>	90	10,8	46				4x10 <sup>3</sup>	10,12	25,80
Coliformes totales (B-2)	NMP/100cm <sup>3</sup>				<3	11,04	44,40			
Coliformes totales (B-3)	NMP/100cm <sup>3</sup>	30x10 <sup>8</sup>	10,98	24				4	10,11	50,00
Coliformes totales (B-4)	NMP/100cm <sup>3</sup>				460x10 <sup>3</sup>	10,80	27,00			
Coliformes fecales (B-1)	NMP/100cm <sup>3</sup>	<3	10,80	46,00				4x10 <sup>3</sup>	10,12	25,80
Coliformes fecales (B-2)	NMP/100cm <sup>3</sup>				<3	11,04	44,40			
Coliformes fecales (B-3)	NMP/100cm <sup>3</sup>	15x10 <sup>8</sup>	10,98	24,00				<3	10,11	50,00
Coliformes fecales (B-4)	NMP/100cm <sup>3</sup>				150x10 <sup>3</sup>	10,80	27,00			

Tabla XXXVII. Resultado de análisis fisicoquímico; muestras compuestas punto No.2

		Nº de análisis:                      5                      7                      9 Fecha de análisis:                      31/1/06    14/2/06    28/2/06		
Parámetro	U	Valor por muestra punto No.2		
Potencial de hidrógeno (pH)		8,14	8,40	7,98
Temperatura	°C	25,19	24,08	24,60
Color	U	46,80	16,70	20,50
Sólidos suspendidos totales	mg/l	284,00	145,00	522,00
Sólidos sedimentables	ml/l	2,00	0,00	2,00
DQO	mg/l	482,00	294,00	420,00
DBO <sub>5</sub> (20°C)	mg/l	230,00	170,00	287,00
Sustancias activas al azul de metileno (tensoactivos)	mg/l	5,23	4,70	4,60
Nitrógeno total	mg/l	56,00	53,80	48,00
Fósforo total	mg/l	9,30	3,80	9,80
Cianuros	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002
Metales pesados				
Cobre	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02
Cromo	mg/l	0,09	0,05	0,07
Zinc	mg/l	0,60	0,64	0,61
Cadmio	mg/l	0,07	0,14	
Níquel	mg/l	<0,02	<0,02	0,11
Plomo	mg/l	<0,10	<0,10	<0,10

Tabla XXXVIII. Resultado de análisis bacteriológicos; muestras puntuales del punto No.2

Parámetro	U	5 31/1/06			7 14/2/06			9 28/2/06		
		Valor coliformes	pH	Temperatura °C	Valor coliformes	pH	Temperatura °C	Valor coliformes	pH	Temperatura °C
Coliformes totales (B-1)	NMP/100cm <sup>3</sup>				210x10 <sup>7</sup>	8,47	24,9	28x10 <sup>6</sup>	8,93	23,2
Coliformes totales (B-2)	NMP/100cm <sup>3</sup>	1 100x10 <sup>5</sup>	8,18	23,90						
Coliformes totales (B-3)	NMP/100cm <sup>3</sup>	7x10 <sup>4</sup>	8,24	24,20	75x10 <sup>7</sup>	8,22	24,5	75x10 <sup>5</sup>	8,52	25,7
Coliformes fecales (B-1)	NMP/100cm <sup>3</sup>				150x10 <sup>7</sup>	8,47	24,9	21x10 <sup>5</sup>	8,93	23,2
Coliformes fecales (B-2)	NMP/100cm <sup>3</sup>	1 100x10 <sup>5</sup>	8,18	23,90						
Coliformes fecales (B-3)	NMP/100cm <sup>3</sup>	7x10 <sup>4</sup>	8,24	24,20	7x10 <sup>6</sup>	8,22	24,5	75x10 <sup>5</sup>	8,52	25,7

Tabla XXXIX. Resultado de análisis fisicoquímicos; muestras compuestas del punto No.3

		<b>Nº de análisis:</b> <b>6</b> <b>8</b> <b>10</b> <b>Fecha de análisis:</b> <b>7/2/06</b> <b>21/2/06</b> <b>7/3/06</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>U</b>	<b>Valor por muestra punto No.3</b>		
Potencial de hidrógeno (pH)		8,28	8,57	8,52
Temperatura	°C	25,21	24,41	24,48
Color	U	45,50	48,60	26,40
Sólidos suspendidos totales	mg/l	294,00	308,00	474,00
Sólidos sedimentables	ml/l	0,30	1,00	0,10
DQO	mg/l	694,00	412,00	440,00
DBO <sub>5</sub> (20°C)	mg/l	430,00	250,00	300,00
Sustancias activas al azul de metileno (tensoactivos)	mg/l	3,79	3,85	2,95
Nitrógeno total	mg/l	56,00	56,00	76,00
Fósforo total	mg/l	4,40	2,60	3,20
Cianuros	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002
Metales pesados				
Cobre	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02
Cromo	mg/l	0,08	0,06	0,08
Zinc	mg/l	0,65	0,62	0,20
Cadmio	mg/l	0,12	0,17	<0,02
Níquel	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02
Plomo	mg/l	<0,10	<0,10	<0,10

Tabla XL. Resultado de análisis bacteriológico; muestras puntuales del punto No.3

		6			8			10		
		7/2/06			21/2/06			7/3/06		
Nº de análisis:										
Fecha de análisis:										
Parámetro	U	Valor coliformes	pH	Temperatura °C	Valor coliformes	pH	Temperatura °C	Valor coliformes	pH	Temperatura °C
Coliformes totales (B-1)	NMP/100cm <sup>3</sup>				2 400x10 <sup>7</sup>	8,22	25,30	1 100x10 <sup>7</sup>	7,60	23,60
Coliformes totales (B-2)	NMP/100cm <sup>3</sup>	75x10 <sup>8</sup>	9,80	29,00						
Coliformes totales (B-3)	NMP/100cm <sup>3</sup>				210x10 <sup>7</sup>	8,79	25,00	75x10 <sup>7</sup>	8,32	24,80
Coliformes totales (B-4)	NMP/100cm <sup>3</sup>	15x10 <sup>4</sup>	10,37	30,40						
Coliformes totales (B-5)	NMP/100cm <sup>3</sup>							240x10 <sup>6</sup>	8,87	24,70
Coliformes fecales (B-1)	NMP/100cm <sup>3</sup>				2 400x10 <sup>7</sup>	8,22	25,3	28x10 <sup>7</sup>	7,60	23,60
Coliformes fecales (B-2)	NMP/100cm <sup>3</sup>	20x10 <sup>8</sup>	9,80	29,00						
Coliformes fecales (B-3)	NMP/100cm <sup>3</sup>				210x10 <sup>7</sup>	8,79	25	15x10 <sup>6</sup>	8,32	24,80
Coliformes fecales (B-4)	NMP/100cm <sup>3</sup>	15x10 <sup>4</sup>	10,37	30,40						
Coliformes fecales (B-5)	NMP/100cm <sup>3</sup>							75x10 <sup>5</sup>	8,87	24,70

Tabla XLI. Resultado de análisis fisicoquímicos; muestras compuestas del punto No.4

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nº de análisis:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fecha de análisis:		7/12/05	14/12/05	17/1/06	24/1/06	31/1/06	7/2/06	14/2/06	21/2/06	28/2/06	7/3/06
Parámetro	U	Valor por muestra punto No.4									
Potencial de hidrógeno (pH)		9,98	9,77	9,72	9,47	9,01	9,94	9,52	9,33	9,50	9,69
Temperatura	°C	28,54	27,86	29,19	29,47	29,15	29,62	27,75	29,75	29,45	29,91
Color	U	29,20	31,10	32,50	36,60	50,60	35,40	36,80	33,50	34,60	31,50
Sólidos suspendidos totales	mg/l	188,00	186,00	308,00	214,00	242,00	136,00	298,00	274,00	680,00	746,00
Sólidos sedimentables	ml/l	1,50	1,00	0,80	0,30	4,50	0,40	1,20	1,50	1,50	1,50
Aceites y grasas	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,863	0,000	0,155	0,000	0,131	0,000	0,000
DQO	mg/l	562,00	592,00	428,00	546,00	682,00	558,00	602,00	444,00	576,00	535,00
DBO <sub>5</sub> (20°C)	mg/l	350,00	400,00	300,00	350,00	200,00	270,00	320,00	260,00	288,00	330,00
Sustancias activas al azul de metileno (tensoactivos)	mg/l	2,24	2,20	2,50	2,60	5,32	5,08	4,80	5,41	4,90	5,00
Nitrógeno total	mg/l	35,80	39,20	28,00	33,60	50,40	33,60	38,10	33,60	37,00	54,00
Fósforo total	mg/l	2,99	3,70	1,60	2,30	9,30	2,90	4,80	1,60	3,80	1,80
Cianuros	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Metales pesados											
Cobre	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Cromo	mg/l			<0,01	<0,01	0,22	0,12	0,13	0,11	0,11	0,34
Zinc	mg/l	0,15	0,11	0,97	0,56	0,64	0,51	0,44	0,62	0,49	0,32
Cadmio	mg/l	0,12	0,20	0,08	0,15	0,21	0,13	0,04	0,14		0,10
Níquel	mg/l	0,04	0,03	0,04	<0,02	0,18	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Plomo	mg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

Tabla XLII. Resultado de análisis bacteriológicos; muestras puntuales punto No.4 (análisis del 1 al 5)

Nº de análisis:		1			2			3			4			5		
Fecha de análisis:		7/12/05			14/12/05			17/1/06			24/1/06			31/1/06		
Parámetro	U	Valor coliformes	pH	Temperatura °C	Valor coliformes	pH	Temperatura °C	Valor coliformes	pH	Temperatura °C	Valor coliformes	pH	Temperatura °C	Valor coliformes	pH	Temperatura °C
Coliformes totales (B-1)	NMP/100cm <sup>3</sup>	90	10,59	40,00	15x10 <sup>6</sup>	8,23	21,40	43x10 <sup>9</sup>	9,14	26,50				2 400x10 <sup>5</sup>	8,40	32,20
Coliformes totales (B-2)	NMP/100cm <sup>3</sup>							4	10,00	40,00	460x10 <sup>7</sup>	9,52	25,20			
Coliformes totales (B-3)	NMP/100cm <sup>3</sup>	30x10 <sup>8</sup>	9,60	27,30	90	10,70	38,00									
Coliformes totales (B-4)	NMP/100cm <sup>3</sup>										460x10 <sup>5</sup>	8,69	27,00	43x10 <sup>6</sup>	9,85	26,70
Coliformes totales (B-5)	NMP/100cm <sup>3</sup>															
Coliformes totales (B-6)	NMP/100cm <sup>3</sup>															
Coliformes fecales (B-1)	NMP/100cm <sup>3</sup>	<3	10,59	40,00	15x10 <sup>6</sup>	8,23	21,40	15x10 <sup>9</sup>	9,14	26,50				2 400x10 <sup>5</sup>	8,40	32,20
Coliformes fecales (B-2)	NMP/100cm <sup>3</sup>							<3	10,00	40,00	150x10 <sup>7</sup>	9,52	25,20			
Coliformes fecales (B-3)	NMP/100cm <sup>3</sup>	15x10 <sup>8</sup>	9,60	27,30	<3	10,70	38,00									
Coliformes fecales (B-4)	NMP/100cm <sup>3</sup>										460x10 <sup>5</sup>	8,69	27,00	43x10 <sup>6</sup>	9,85	26,70
Coliformes fecales (B-5)	NMP/100cm <sup>3</sup>															
Coliformes fecales (B-6)	NMP/100cm <sup>3</sup>															

Tabla XLIII. Resultado de análisis bacteriológicos; muestras puntuales punto No 4 (análisis del 6 al 10)

Nº de análisis:		6			7			8			9			10		
Fecha de análisis:		7/2/06			14/2/06			21/2/06			28/2/06			7/3/06		
Páramaetro	U	Valor coliformes	pH	Temperatura °C	Valor coliformes	pH	Temperatura °C	Valor coliformes	pH	Temperatura °C	Valor coliformes	pH	Temperatura °C	Valor coliformes	pH	Temperatura °C
Coliformes totales (B-1)	NMP/100cm <sup>3</sup>	210x10 <sup>8</sup>	8,12	23,70												
Coliformes totales (B-2)	NMP/100cm <sup>3</sup>				15x10 <sup>5</sup>	10,55	30,60	15x10 <sup>6</sup>	10,3	26,80	11x10 <sup>7</sup>	8,24	27,70	23x10 <sup>4</sup>	8,4	29,20
Coliformes totales (B-3)	NMP/100cm <sup>3</sup>	28x10 <sup>7</sup>	8,43	24,60												
Coliformes totales (B-4)	NMP/100cm <sup>3</sup>				2 400x10 <sup>7</sup>	8,93	25,70	9x10 <sup>5</sup>	8,41	39,00	15x10 <sup>7</sup>	10,2	26,60	23x10 <sup>4</sup>	10	24,50
Coliformes totales (B-5)	NMP/100cm <sup>3</sup>															
Coliformes totales (B-6)	NMP/100cm <sup>3</sup>													20x10 <sup>4</sup>	10	25,00
Coliformes fecales (B-1)	NMP/100cm <sup>3</sup>	210x10 <sup>8</sup>	8,12	23,70												
Coliformes fecales (B-2)	NMP/100cm <sup>3</sup>				4x10 <sup>4</sup>	10,55	30,60	9x10 <sup>5</sup>	10,3	26,80	11x10 <sup>7</sup>	8,24	27,7	23x10 <sup>4</sup>	8,4	29,2
Coliformes fecales (B-3)	NMP/100cm <sup>3</sup>	28x10 <sup>7</sup>	8,43	24,60												
Coliformes fecales (B-4)	NMP/100cm <sup>3</sup>				2 400x10 <sup>7</sup>	8,93	25,70	9x10 <sup>5</sup>	8,41	39,00	4x10 <sup>7</sup>	10,2	26,6	9x10 <sup>4</sup>	10	0
Coliformes fecales (B-5)	NMP/100cm <sup>3</sup>															
Coliformes fecales (B-6)	NMP/100cm <sup>3</sup>													7x10 <sup>4</sup>	10	25



## **12.6. Anexo No. 6: formularios utilizados en este estudio**



HOSPITAL DE ACCIDENTES DEL IGSS

TOMA DE MUESTRA No. _____		Fecha: _____	
Hora	Bacteriológico: _____		Hora: _____
	Volumétrico en punto No.1	Vertedero en punto No.2	Volumétrico en punto No.2
			Volumétrico en punto No.3
	Vol: _____		Vol: _____
	T1: _____	H1: _____	T1: _____
Caudal	T2: _____	H2: _____	T2: _____
	T3: _____	H3: _____	T3: _____
	Q: _____	Q: _____	Q: _____
	Qtotal (Vertedero punto No.2 + Volumétrico punto No.3): _____		
	punto No.1	punto No.2	punto No.3
Temperatura	_____	_____	_____
Ph	_____	_____	_____
Redox	_____	_____	_____
Ox Disuelto	_____	_____	_____
			punto No. 4



**HOSPITAL DE ACCIDENTES DEL IGSS**  
**BOLETA PARA MUESTRAS COMPUESTAS**

HR INICIO \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Sitio de muestreo: \_\_\_\_\_

HR FIN \_\_\_\_\_ Qm: \_\_\_\_\_ Volumen / analizar: \_\_\_\_\_

# Qp	Qp	Volumen por tomar	# Qp	Qp	Volumen por tomar
Qp _____	_____	_____	Qp _____	_____	_____
Qp _____	_____	_____	Qp _____	_____	_____
Qp _____	_____	_____	Qp _____	_____	_____
Qp _____	_____	_____	Qp _____	_____	_____
Qp _____	_____	_____	Qp _____	_____	_____
Qp _____	_____	_____	Qp _____	_____	_____
Qp _____	_____	_____	Qp _____	_____	_____
Qp _____	_____	_____	Qp _____	_____	_____
Qp _____	_____	_____	Qp _____	_____	_____



