



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**PROPUESTA PARA EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DEL HOSPITAL
NACIONAL SAN JUAN DE DIOS DE AMATITLÁN, AMATITLÁN, GUATEMALA**

Luis Enrique Echeverría Reyes

Asesorado por el Ing. Francisco Estuardo Quintana Reynosa

Guatemala, agosto de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DEL HOSPITAL
NACIONAL SAN JUAN DE DIOS DE AMATITLÁN, AMATITLÁN, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS ENRIQUE ECHEVERRÍA REYES

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO ESTUARDO QUINTANA REYNOSA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

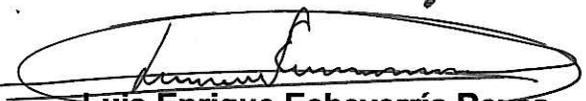
GUATEMALA, AGOSTO DE 2018

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA PARA EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DEL HOSPITAL NACIONAL SAN JUAN DE DIOS DE AMATITLÁN, AMATITLÁN, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 19 de noviembre de 2015.



Luis Enrique Echeverría Reyes

Guatemala, noviembre de 2017

Ingeniero
José Francisco Gómez Rivera
Director
Escuela de Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero:

Por este medio tengo el gusto de dirigirme a usted con el objetivo de informar que he finalizado la asesoría del trabajo de graduación, elaborado por el estudiante Luis Enrique Echeverría Reyes con carné no. 2006-11001, denominado **“PROPUESTA PARA EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DEL HOSPITAL NACIONAL SAN JUAN DE DIOS DE AMATITLÁN, AMATITLÁN, GUATEMALA”**, por lo cual apruebo el contenido del mismo.

Sin otro particular, es grato suscribirme.


Francisco Estuardo Quintana Reynosa
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No. 7156
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado 7156

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF.REV.EMI.062.018

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **PROPUESTA PARA EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DEL HOSPITAL NACIONAL SAN JUAN DE DIOS DE AMATITLÁN, AMATITLÁN, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Luis Enrique Echeverría Reyes**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Saadeth Arreaza M.
INGENIERA INDUSTRIAL
C# 1542

Inga. Mayra Saadeth Arreaza Martínez
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, junio de 2018.

/mgp

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**

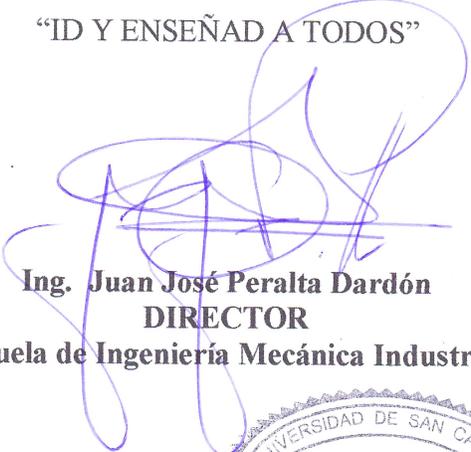


FACULTAD DE INGENIERÍA

REF.DIR.EMI.098.018

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **PROPUESTA PARA EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DEL HOSPITAL NACIONAL SAN JUAN DE DIOS DE AMATITLÁN, AMATITLÁN, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Luis Enrique Echeverría Reyes**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Juan José Peralta Dardón
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, agosto de 2018.

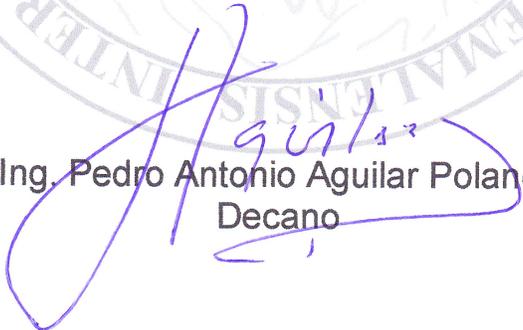


/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DEL HOSPITAL NACIONAL SAN JUAN DE DIOS DE AMATILÁN, AMATILÁN, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Enrique Echeverría Reyes**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, agosto de 2018

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser el dador de la vida y la fuente de sabiduría.
Mis padres	Carlos Enrique Echeverría (q.e.p.d.) y María Antonieta Reyes por su apoyo incondicional, por su sacrificio y por ser un ejemplo de vida.
Mi abuela	Por sus cuidados y apoyo en todo momento.
Mis hermanos	Por su afecto y apoyo incondicional.
Mi novia	Por su cariño, motivación y comprensión en momentos difíciles.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Porque Él es dueño y creador de todo cuanto existe, sin Él nada soy. Me dio el valor y la perseverancia para llegar a este momento.
Mis padres	Por ser el sustento, el ejemplo y el motor de mi vida.
Mis amistades	Por los valiosos consejos y apoyos brindados.
Ingeniero Francisco Quintana	Quien me asesoró y acompañó en el desarrollo de este trabajo.
Facultad de Ingeniería	Por ser la fuente de conocimiento y sabiduría para alcanzar muchas metas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Información general del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán.....	1
1.2. Aguas residuales	6
1.2.1. Clasificación de aguas residuales.....	6
1.2.2. Contaminación de las aguas residuales	7
1.2.3. Aguas residuales hospitalarias y sus características	8
1.2.4. Tratamiento de aguas residuales.....	11
1.3. Problemática de aguas residuales.....	20
1.3.1. Riesgos causados por las aguas residuales.....	23
1.3.2. Enfermedades transmitidas por contaminación de las aguas	23
2. SITUACIÓN ACTUAL.....	27
2.1. Desechos hospitalarios generados	27
2.1.1. Desechos sólidos.....	34
2.1.2. Desechos líquidos	41

2.2.	Contaminación del río Michatoya debido a las aguas residuales.....	42
2.3.	Actualidad del manejo de aguas residuales del hospital.....	45
2.3.1.	Caudal generado de aguas residuales internas	46
2.3.2.	Manejo actual de aguas residuales	47
2.3.3.	Consumo y disposición del agua.....	50
2.4.	Ventajas de la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales	53
2.5.	Identificación de normas y legislación por cumplir actualmente con relación al manejo de aguas residuales.....	57
3.	PROPUESTA DE MANEJO DE AGUAS RESIDUALES EN EL HOSPITAL NACIONAL SAN JUAN DE DIOS DE AMATITLÁN.....	61
3.1.	Plantas de tratamiento de aguas residuales	61
3.2.	Tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales	62
3.2.1.	Planta de tratamiento anaeróbica.....	63
3.2.2.	Planta de tratamiento aeróbica.....	64
3.3.	Planta aeróbica vs planta anaeróbica	65
3.4.	Alternativa recomendada	67
3.5.	Propuesta de implementación de planta de tratamiento	70
3.5.1.	Renglones de trabajo	72
3.5.2.	Propuesta de diseño	74
3.5.3.	Especificaciones técnicas para la planta de tratamiento	76
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	127
4.1.	Población beneficiada	127
4.2.	Análisis financiero	128

4.2.1.	Presupuesto estimado de construcción de planta de tratamiento	130
4.2.2.	Presupuesto estimado de operación	134
4.2.3.	Presupuesto de mantenimiento	137
4.2.4.	Valor actual de costos	140
4.2.5.	Costo anual equivalente	142
4.2.6.	Análisis beneficio costo	144
4.3.	Ubicación para la planta de tratamiento	144
4.4.	Procesos por implementar para mejorar el manejo de aguas residuales y la disposición del agua	146
4.5.	Medidas de seguridad en la planta de tratamiento	151
4.6.	Resultados esperados del tratamiento de aguas residuales .	155
5.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	157
5.1.	Operación de puesta en marcha	157
5.1.1.	Inspección preliminar.....	159
5.1.2.	Operaciones iniciales	160
5.1.3.	Llenado de la planta	161
5.2.	Operación normal	162
5.3.	Inspección y evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales	164
5.3.1.	Inspección del sedimentador	166
5.3.1.1.	Evaluación de la presencia de nata ...	166
5.3.1.2.	Evaluación de la cantidad de lodo	168
5.3.1.3.	Procedimiento para el retiro de la nata.....	170
5.3.1.4.	Procedimiento para el retiro de lodos	171

5.3.2.	Inspección del filtro ascendente	174
5.3.3.	Inspección del clorinador.....	175
6.	SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LAS MEJORAS IMPLEMENTADAS	177
6.1.	Análisis físico químicos periódicos del agua tratada	177
6.2.	Capacitaciones al personal	178
6.3.	Identificación de nuevas problemáticas.....	179
6.4.	Operación especial o eventual	180
6.5.	Mantenimiento de tuberías y obras accesorias	182
6.6.	Control de conexiones ilícitas.....	183
	CONCLUSIONES.....	185
	RECOMENDACIONES	187
	BIBLIOGRAFÍA.....	189
	ANEXOS.....	193

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán.....	2
2.	Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán	3
3.	Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán, salas de encamamiento	4
4.	Área de parqueo de vehículos del personal, Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán.....	5
5.	Detalle desarenador típico.....	13
6.	Tratamiento biológico	15
7.	Tipos de lagunas de estabilización. Laguna anaeróbica.	18
8.	Tipos de lagunas de estabilización. Laguna facultativa.....	18
9.	Detalle filtro biológico	19
10.	Instalaciones para el almacenamiento temporal de desechos sólidos comunes.....	35
11.	Manejo de desechos sólidos peligrosos	39
12.	Instalaciones para el almacenamiento temporal de desechos sólidos hospitalarios peligrosos	40
13.	Instalaciones del sistema de drenajes Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán.	42
14.	Contaminación del río Michatoya	43
15.	Descargas de aguas residuales al río Michatoya	44
16.	Planta de drenajes Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán	46
17.	Situación de los servicios sanitarios	53
18.	Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales	62

19.	Puntos de muestreos de agua residual, Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán	69
20.	Gráfica de flujo de fondos	143
21.	Ubicación PTAR Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán.	145
22.	Factores que afectan el arranque y operación de un reactor anaerobio.....	158

TABLAS

I.	Cartera de servicios Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán.....	28
II.	Producción del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán (21 abril).....	31
III.	Producción del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán (22 abril).....	32
IV.	Producción del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán (23 abril).....	33
V.	Resumen consultas registradas.....	34
VI.	Manejo de los residuos sólidos hospitalarios.....	37
VII.	Producción del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán. Consolidado de producción de desechos (lb) de enero a diciembre 2015	38
VIII.	Producción DSH del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán. Resumen.....	38
IX.	Resultados análisis de aguas residuales Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán año 2015.....	48
X.	Modelo de reducción progresiva de cargas de DBO	55
XI.	Parámetros de calidad asociados con la DBO.....	57
XII.	Planta aeróbica vs planta anaeróbica.....	66

XIII.	Valores de biodegradabilidad del agua residual.....	67
XIV.	Comparación de alternativas PTAR Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán	70
XV.	Renglones de trabajo PTAR Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán.....	73
XVI.	Pruebas de presión y tiempo para tuberías.....	79
XVII.	Espaciamiento máximo entre soportes de tuberías.	80
XVIII.	Recubrimientos mínimos para acero de refuerzo.....	94
XIX.	Tiempos y porcentajes de resistencia mínimos para desencofrado...	103
XX.	Longitud de empalme para el acero de refuerzo.....	122
XXI.	Proyección estimada de la población del municipio de Amatitlán	128
XXII.	Renglones de trabajo propuesta PTAR Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán	130
XXIII.	Presupuesto PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán	132
XXIV.	Tasa de inflación años 2007 – 2018 porcentajes.....	135
XXV.	Presupuesto estimado de operación PTAR Hospita Nacional San Juan de Dios de Amatitlán	136
XXVI.	Costos anuales estimados de operación + tabla de inflación anual ...	136
XXVII.	Presupuesto de mantenimiento PTAR Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán	139
XXVIII.	Costos anuales estimados de mantenimiento + tabla de inflación anual	140
XXIX.	Análisis valor actual de costos PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán	141
XXX.	Análisis costo anual equivalente PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán	142

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
d	Día
h	Hora
HG	Hierro galvanizado
m	Metro
%	Porcentaje
SS	Sólidos sedimentables
Σ	Sumatoria
T	Tiempo
U	Unidad

GLOSARIO

Aguas residuales	Agua que transporta desechos de los hogares, negocios e industrias. Es una mezcla de agua y sólidos disueltos o en suspensión.
Asesoría	Servicios independientes hacia otras personas que carecen de conocimientos necesarios sobre un tema concreto y prefieren la ayuda de un especialista.
Calidad de aguas residuales	El estado o condición de agua gastada o utilizada que contiene materia disuelta o en suspensión de un hogar, granja comunitaria o industria.
Coliformes	Se designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.
Contaminantes emergentes (CE)	Son compuestos de distinto origen y naturaleza química, cuya presencia en el medioambiente, o las posibles consecuencias de la misma, han pasado en gran medida inadvertidas, causando problemas ambientales y de riesgo para la salud.

Demanda química de oxígeno (DQO)	La cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua.
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Medida de la fortaleza de contaminación orgánica que tienen las aguas residuales, medida en miligramos por litro. Es igual a la masa de oxígeno consumida por la materia orgánica durante la descomposición aeróbica bajo condiciones estándares y durante un periodo fijo (usualmente, cinco días).
Lodo	Masa de sedimento húmeda y semifluida, que resulta del tratamiento de agua, aguas residuales o desechos industriales o de minería. A menudo aparece como depósitos localizados en el fondo de cuerpos de aguas contaminados.
Lodo seco de aguas residuales	Lodo proveniente de plantas de tratamiento de aguas residuales, el cual ha sido digerido y desaguado y no requiere de equipos para el manejo de líquidos.
Toxicidad	Capacidad inherente de un agente químico para producir un efecto nocivo sobre los organismos vivos. Es resultante de la concentración y del tiempo de exposición y modificado por variables como la temperatura, formas químicas y disponibilidad.

RESUMEN

La producción más limpia es una estrategia ambiental preventiva integrada que se aplica a los procesos, productos y servicios a fin de aumentar la eficiencia y reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente. Uno de los principales riesgos para el medio ambiente es el mal manejo de las aguas residuales tanto en el sector público como privado.

En un hospital pueden hacerse intervenciones de producción más limpia en varios aspectos como programas de ahorro de agua y energía, cambios en los procedimientos operativos de limpieza y desinfección hospitalaria, uso de detergentes y limpiadores biodegradables y multiusos, control de fugas y escapes. Además, instalación de accesorios de plomería ahorradores de agua, inactivación eficiente de microorganismos patógenos antes de su descarga a las redes públicas de alcantarillado, segregación y recolección separada de residuos, dosificación automática de reactivos para análisis de laboratorio, entre otros.

Las aguas residuales hospitalarias contienen agentes patógenos y compuestos peligrosos que causan riesgos para la salud ambiental y humana de las diferentes comunidades; los hospitales generan aproximadamente 750 litros de aguas residuales por cama por día.

Actualmente en el Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán no se cuenta con ningún tipo de tratamiento de aguas residuales. Su desfogue se hace directamente a los drenajes municipales, mismos que descargan

directamente en el río Michatoya, a la altura del lugar denominado La Ceiba, a un costado del mercado municipal.

Por lo delicado de estos residuos, al unirse a las aguas municipales provocan que el agua del río se contamine, aumentando los focos infecciosos para la población. Por tanto, es necesario implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales para el Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán.

OBJETIVOS

General

Elaborar una propuesta viable y factible para el manejo de aguas residuales generadas por el Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán, que contribuya a disminuir los niveles de contaminación y el impacto negativo cuando son vertidas en el drenaje municipal.

Específicos

1. Identificar la problemática actual que impera en el manejo de aguas residuales del hospital para determinar sus causas y posibles soluciones.
2. Determinar, mediante análisis de laboratorio, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de las aguas residuales del hospital, para compararlos con los límites permisibles establecidos en el reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.
3. Proponer la implementación de cambios administrativos para mejorar la gestión de aguas residuales del hospital.
4. Crear una propuesta para disminuir y controlar los niveles de contaminación de las aguas residuales generadas por el hospital.
5. Evaluar sistemas de tratamiento de aguas residuales existentes para identificar y proponer el más adecuado para el hospital.

6. Realizar una propuesta con la cual el Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán pueda dar cumplimiento a la normativa establecida en el acuerdo Gubernativo 236-2006.
7. Proponer un modelo de gestión de aguas residuales que permita evitar la incidencia de enfermedades transmitidas por aguas residuales.

INTRODUCCIÓN

Los centros hospitalarios generan una cantidad considerable de aguas residuales de diferente grados de contaminación, las que muchas veces son vertidas a los cuerpos receptores o sistemas colectores municipales con poco o ningún tratamiento. Las descargas de aguas residuales no tratadas es uno de los principales contribuyentes de la degradación del medio ambiente.

En la actualidad, el Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán no cuenta con un sistema de tratamiento de sus aguas residuales, por lo que vierten sus desechos líquidos directamente a la red de drenajes municipales, poniendo en grave riesgo a la población en general. Por esta razón se desarrolló este trabajo que presenta una propuesta viable y factible para el manejo de las aguas residuales generadas por el hospital, que contribuya a disminuir los niveles de contaminación y el impacto negativo cuando son vertidas en el drenaje municipal.

En el capítulo uno se presenta los antecedentes relacionados con el trabajo, como información general del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán y aspectos importantes de las aguas residuales. El capítulo dos aborda la situación actual del hospital relacionado con la gestión de desechos sólidos y líquidos, así como el manejo actual de las aguas residuales en el hospital y la legislación relacionada.

En el capítulo tres se describe la propuesta de manejo de aguas residuales en el Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán, así como los diferentes tipos y sistemas de tratamiento de aguas residuales y la alternativa

recomendada. El capítulo cuatro describe la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales, incluyendo el análisis financiero, ubicación y procesos por implementar en la PTAR.

En el capítulo cinco se describen la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento y sus unidades. Finalmente, el capítulo seis describe las actividades de seguimiento y evaluación de la propuesta de la PTAR.

1. ANTECEDENTES

1.1. Información general del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán

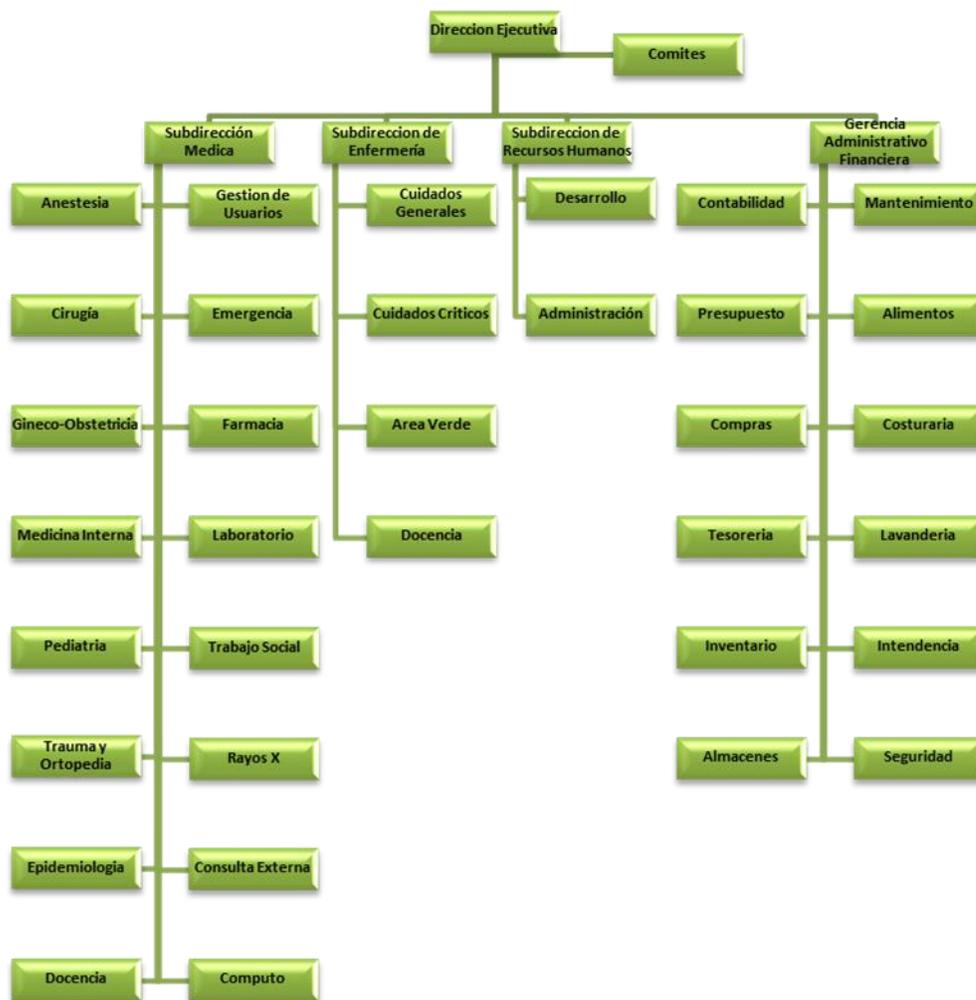
Es un centro de atención integral de salud que cuenta con los servicios básicos para la atención de pacientes. Atiende las 24 horas del día los 365 días del año y está posicionado como un centro del tercer nivel de atención ubicado en la cabecera del municipio de Amatitlán.

Debido a su localización geográfica, está predispuesto a atender casos de desastres por la cercanía de un lago contaminado, un volcán en actividad constante y una autopista cada vez más riesgosa, sumado al índice de violencia que se vive en todo el país.

- Misión: el hospital departamental de Amatitlán es una institución pública que presta servicios de salud a toda la población, basando su acción en la ponderación de la dignidad del individuo y el mejoramiento continuo de la calidad de atención en términos de equidad, eficiencia y eficacia.
- Visión: somos una Institución líder en salud, prestar servicios de calidad, eficiencia y profesionalismo, con recurso humano altamente calificado, apoyándonos con el desarrollo tecnológico, que responda al crecimiento y necesidades de la población.

A continuación se presenta el organigrama del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán, donde se observa la estructura fundamental para la disposición y correlación de las funciones, jerarquías y actividades necesarias para su funcionamiento.

Figura 1. **Organigrama Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán**



Fuente: información trabajo de campo.

El hospital fue construido sobre un área de cuatro manzanas de extensión, cercana al área urbana de Amatitlán. En 1862, se eligió la junta de caridad para conseguir la culminación de las obras del hospital, el cual fue inaugurado en noviembre del mismo año.

Figura 2. **Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán**



Fuente: elaboración propia.

Con cobertura para más de 2 millones de personas de las áreas aledañas, brinda servicio médico además de proyección social en el campo de la salud. Cada año atiende a un promedio de 40 524 personas en sus diferentes servicios. Asimismo, entre sus funciones está incluida la autorización de establecimientos o personas que se dedican a la venta de alimentos preparados.

Cuenta con los servicios esenciales para dar tratamiento, hospitalización y seguimiento a las personas que lo requieren. Cuenta para ello con servicios de emergencia, cirugía, medicina, sala de operaciones, maternidad (ambulatoria y

hospitalización), sala de labor y partos, recién nacidos, pediatría, ginecología, quemados, consulta externa, odontología, apoyo psicológico, nutrición, vacunación, planificación familiar, laboratorio y farmacia.

También cuenta con los servicios de apoyo para establecer diagnósticos inmediatos, como: área de laboratorio clínico, rayos X, tomografías, banco de sangre, así como otro tipo de servicios que son importantes en la recuperación y rehabilitación de pacientes.

Figura 3. Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán, salas de encamamiento



Fuente: elaboración propia.

Debido a lo anterior, es un establecimiento que por su función, produce residuos y desechos de todo tipo, los cuales, si no son manejados adecuadamente, son una fuente de focos infecciosos que ponen en peligro la salud de la población.

Figura 4. **Área de parqueo de vehículos del personal, Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán**



Fuente: elaboración propia.

1.2. Aguas residuales

Son aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos; incluye fraccionamientos y en general de cualquier otro tipo, que haya sufrido degradación en su calidad original. Las aguas residuales causan serios problemas al medio ambiente y a la salud; llevan grasas, detergentes, materia orgánica, residuos de la industria y de los ganados, herbicidas y plaguicidas y, en ocasiones, algunas sustancias muy tóxicas o materiales bioinfecciosos.

Las aguas residuales, antes de volver a la naturaleza, deben ser depuradas. Para ello se conducen a las plantas donde se realiza el tratamiento más adecuado para devolverla a la naturaleza en las mejores condiciones posibles.

1.2.1. Clasificación de aguas residuales

Según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, Reglamento de las descargas y reúsos de aguas residuales y de la disposición de lodos, en Guatemala se identifican dos tipos de aguas residuales:

- **Especiales:** son las generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas.

- Ordinario: son las generadas por las actividades domésticas, tales como uso de servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado.

1.2.2. Contaminación de las aguas residuales

Las aguas residuales, por lo regular, tienen composiciones altamente complejas y normalmente se necesita modificarlas para ajustarlas a un uso en particular. En consecuencia, se requiere una variedad de procesos de tratamiento para separar los diversos contaminantes que con seguridad se encontrarán.

Los contaminantes que pueden estar presentes son:

- Sólidos suspendidos flotantes o grandes: arenas, trapos y papel, entre otros.
- Sólidos suspendidos pequeños y coloidales: moléculas orgánicas grandes, partículas de suelo y microorganismos, otros.
- Sólidos disueltos: compuestos orgánicos y sales inorgánicas, entre otros.
- Gases disueltos: sulfuro de hidrógeno, otros.
- Líquidos no mezclables: grasas y aceites.

El tamaño de cada partícula determina el cambio de un grupo a otro; este cambio depende de sus características físicas, tales como el peso específico del material. La división entre grupos es de cualquier manera indistinta. En ciertos casos, puede ser necesario agregar sustancias para mejorar las características del agua; por ejemplo, cloro para desinfectar el agua u oxígeno para estabilizar biológicamente la materia orgánica.

Los problemas principales en el manejo de las aguas residuales son la falta de conciencia y participación por parte de los interesados y los altos costos de mitigación. El manejo inadecuado de las aguas residuales trae serias consecuencias para la salud humana, el medio ambiente y el desarrollo económico.

1.2.3. Aguas residuales hospitalarias y sus características

Los hospitales son establecimientos destinados a proporcionar atención médica y desarrollan funciones rehabilitadoras, formativas y de investigación. Consumen importantes volúmenes de agua por día y generan otro volumen similar de agua residual con microorganismos patógenos, medicamentos metabolizados o no, compuestos tóxicos, entre otros. Estos se vierten tratados o no, al agua, lo afecta su calidad y pone en riesgo la salud.

De acuerdo con la bibliografía consultada, “El agua residual de un establecimiento hospitalario es una mezcla compleja, capaz de generar serios problemas ambientales, pudiendo llegar a ser de 5 a 15 veces más tóxicas que las aguas residuales domésticas.”¹ Los hospitales son considerados como la

¹ *Aguas residuales generadas en hospitales.* www.riha.cujae.edu.cu. Consulta: septiembre 2017.

mayor fuente de contaminantes emergentes, resultado de diferentes actividades como, por ejemplo, residuos de laboratorio, excreción de los pacientes, actividades de investigación, entre otros. “Los hospitales generan aproximadamente 750 litros de aguas residuales por cama por día.”²

Los establecimientos hospitalarios producen tres tipos de desechos líquidos:

- De origen doméstico, las aguas provenientes de cocinas, lavanderías, de la higiene de los pacientes y del personal.
- Industriales, las aguas provenientes de estacionamientos y de talleres. Contienen frecuentemente un volumen importante de aceites y de detergentes.
- Generados por las actividades de aseo, análisis y de búsqueda, que son muy específicos de hospitales. De manera general, los desechos líquidos específicos de actividades médicas comprenden:
 - Los efluentes de servicios clínicos.
 - Los efluentes de servicios médicos técnicos.
 - Los desechos resultantes de conservación de materiales médicos y locales.

² DUCITE BARRERO, Carlos y GUTIÉRREZ GUERRERO, Fabián. www.repository.unimilitar.edu.co. Consulta septiembre de 2017.

- Los desechos de laboratorio médico biológico.
- Los desechos de laboratorio de anatomía- patología.
- Desechos médicos nucleares.
- Efluentes de radiología (agua de enjuague de clichés cargados de residuos de plata).
- Desechos de la farmacia hospitalaria.

Los residuos líquidos provenientes de hospitales incluyen una larga lista de componentes presentes principalmente en pequeñas concentraciones pero con un alto grado de peligrosidad.

Los hospitales son considerados como la mayor fuente de contaminantes emergentes, que son sustancias de origen natural o sintético que interfieren con el funcionamiento de los sistemas endocrinos, lo que genera respuestas no naturales. En la mayoría de los casos estos contaminantes no han sido regulados, razón por la cual se postulan como candidatos a futuras regulaciones dependiendo de estudios que muestren los potenciales efectos sobre la salud y el monitoreo de su ocurrencia.

Un análisis que permite evaluar el impacto de la actividad hospitalaria sobre los recursos hídricos es la determinación de la carga contaminante asociada al caudal de aguas residuales que se genera diariamente. “Puede

estimarse que el 80 % del volumen de agua consumido en un hospital en un día corresponde a la generación de aguas residuales.”³

Uno de los principales problemas causados por los efluentes hospitalarios se debe a su descarga en los sistemas de alcantarillado urbano. Entre los principales compuestos que están presentes en este tipo de aguas, se encuentran los antibióticos de baja biodegradabilidad; el 90% de estos compuestos, luego de su administración, no son metabolizados y sí excretados por medio de la orina o heces.

1.2.4. Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano.

La tesis fundamental para el control de la polución por aguas residuales ha sido tratarlas en plantas de tratamiento que hagan parte del proceso de remoción de los contaminantes y dejar que la naturaleza lo complete en el cuerpo receptor. Para ello, el nivel de tratamiento requerido es función de la capacidad de autopurificación natural del cuerpo receptor. A la vez, la capacidad de autopurificación natural es función, principalmente, del caudal del cuerpo receptor, de su contenido en oxígeno, y de su "habilidad" para reoxigenarse.

³ *Aguas residuales generadas en hospitales.* www.riha.cujae.edu.cu. Consulta: septiembre 2017.

Por lo tanto, el objetivo del tratamiento de las aguas residuales es producir un efluente reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reutilización. Es muy común llamarlo depuración de aguas residuales para distinguirlo del tratamiento de aguas potables.

Típicamente, el tratamiento de aguas residuales comienza por la separación física inicial de sólidos grandes (basura) de la corriente de aguas domésticas o industriales empleando un sistema de rejillas (mallas), aunque también pueden ser triturados por equipo especial.

Posteriormente se aplica un desarenado (separación de sólidos pequeños muy densos como la arena) seguido de una sedimentación primaria (o tratamiento similar) que separe los sólidos suspendidos existentes en el agua residual. Para eliminar metales disueltos se utilizan reacciones de precipitación, las que remueven principalmente plomo y fósforo.

A continuación sigue la conversión progresiva de la materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. Una vez que la masa biológica es separada o removida (proceso llamado sedimentación secundaria), el agua tratada puede experimentar procesos adicionales (tratamiento terciario) como desinfección, filtración, entre otros.

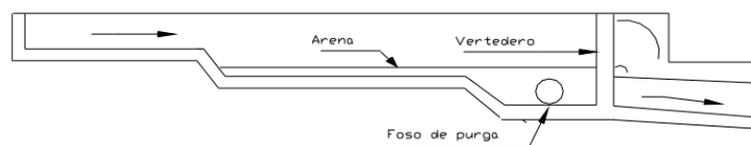
El efluente final puede ser descargado o reintroducido de vuelta a un cuerpo de agua natural (corriente, río o bahía) u otro ambiente (terreno superficial, subsuelo, otros). Los sólidos biológicos segregados experimentan un tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización apropiada.

De acuerdo con los procesos que se utilizan en el tratamiento, se pueden clasificar de la siguiente forma:

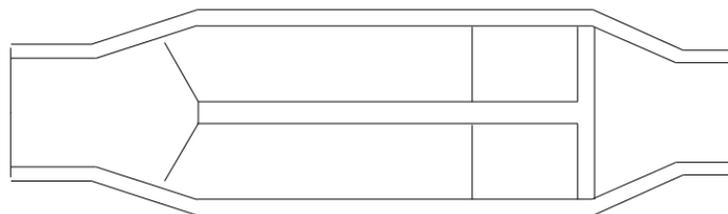
- Tratamientos primarios: el principal objetivo es el de remover los contaminantes que se pueden sedimentar, como por ejemplo los sólidos sedimentables y algunos suspendidos o aquellos que pueden flotar, como las grasas.

El tratamiento primario presenta diferentes alternativas, según la configuración general y el tipo de tratamiento que se haya adoptado. Se puede hablar de una sedimentación primaria como último tratamiento o precediendo un tratamiento biológico o de una coagulación cuando se opta por tratamientos de tipo físico-químico.

Figura. 5. **Detalle desarenador típico**



Elevación



Fuente: RODAS RUIZ, Rodolfo Estuardo. *Determinación del costo directo de construcción de una planta de tratamiento con la ayuda de la programación Pert-tiempo.* p. 21.

- Sedimentación primaria: se realiza en tanques, ya sean rectangulares o cilíndricos, en donde se remueve de un 60 a 65 % de los sólidos sedimentables y de 30 a 35% de los sólidos suspendidos en las aguas residuales. En la sedimentación primaria el proceso es de tipo floculento y los lodos producidos están conformados por partículas orgánicas.

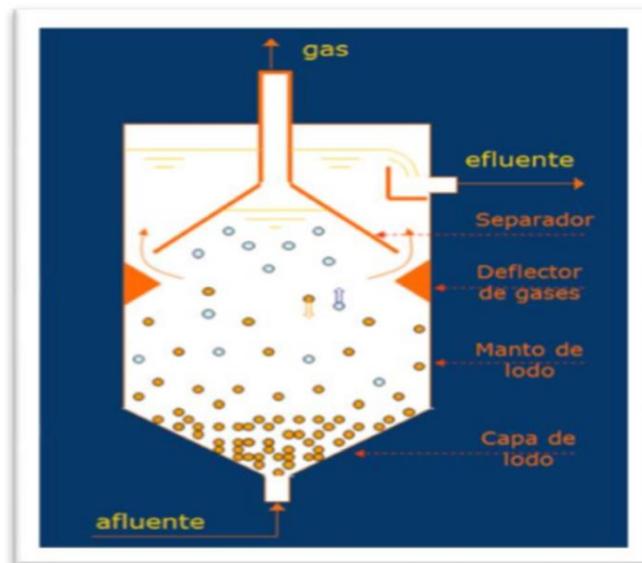
Un tanque de sedimentación primaria tiene profundidades que oscilan entre 3 y 4 metros y tiempos de retención entre 2 y 3 horas. En estos tanques, el agua residual es sometida a condiciones de reposo para facilitar la sedimentación de los sólidos sedimentables. El porcentaje de partículas sedimentadas puede aumentarse con tiempos de detención más altos, aunque se sacrifica eficiencia y economía en el proceso; las grasas y espumas que se forman sobre la superficie del sedimentador primario son removidas por medio de rastrillos que ejecutan un barrido superficial continuo.

- Precipitación química – coagulación: la coagulación en el tratamiento de las aguas residuales es un proceso de precipitación química en donde se agregan compuestos químicos con el fin de remover los sólidos. El uso de la coagulación ha despertado interés sobre todo como tratamiento terciario y con el fin de remover fósforo, color, turbiedad y otros compuestos orgánicos.
- Tratamientos secundarios: el objetivo de este tratamiento es remover la demanda biológica de oxígeno (DBO) soluble que escapa a un tratamiento primario, además de eliminar cantidades adicionales de

sólidos sedimentables. El tratamiento secundario intenta reproducir los fenómenos naturales de estabilización de la materia orgánica, que ocurre en el cuerpo receptor. La ventaja es que en ese proceso el fenómeno se realiza con más velocidad para facilitar la descomposición de los contaminantes orgánicos en períodos cortos de tiempo.

Un tratamiento secundario remueve aproximadamente 85% de la DBO y los sólidos sedimentables (SS), aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno, fósforo, metales pesados, demanda química de oxígeno (DQO) y bacterias patógenas.

Figura 6. **Tratamiento biológico**



Fuente: *Ventajas y desventajas del tratamiento.*

http://www.academia.edu/7309019/Ventajas_y_desventajas_del_tratamientos.

Consulta: mayo 2017.

Además de la materia orgánica se presenta gran cantidad de microorganismos como bacterias, hongos, protozoos, rotíferos, entre otros, que entran en estrecho contacto con la materia orgánica, la cual es

utilizada como su alimento. Los microorganismos convierten la materia orgánica biológicamente degradable en CO_2 y H_2O y nuevo material celular.

Es necesario buen contacto entre ellos (microorganismos – materia orgánica biodegradable), la presencia de un buen suministro de oxígeno, aparte de la temperatura, pH y un adecuado tiempo de contacto. Para llevar a efecto el proceso anterior se usan varios mecanismos tales como lodos activados, biodisco, lagunaje, filtro biológico, los que se presentan a continuación:

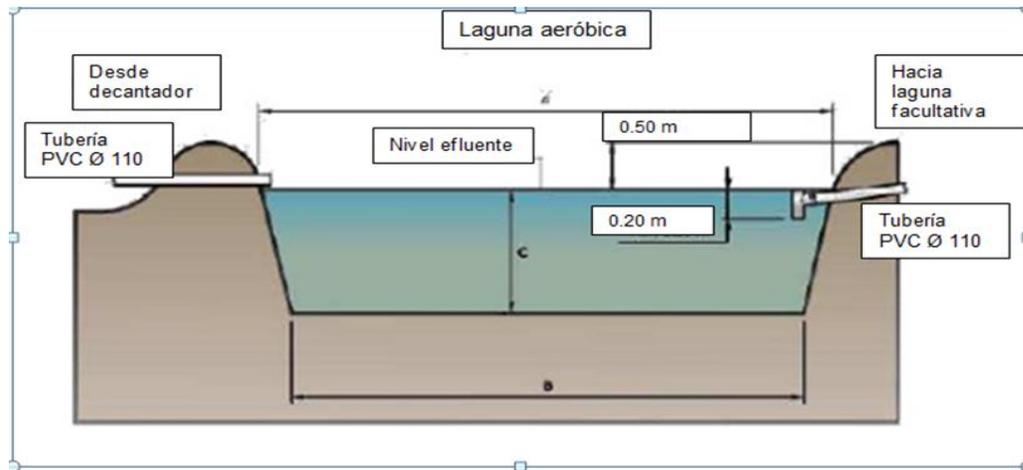
- Lodos activados: es un tratamiento de tipo biológico en el cual una mezcla de agua residual y lodos biológicos es agitada y aireada. Los lodos biológicos producidos son separados y un porcentaje de ellos devueltos al tanque de aireación en la cantidad que sea necesaria. En este sistema, las bacterias utilizan el oxígeno suministrado artificialmente para desdoblar los compuestos orgánicos que, a su vez, son utilizados para su crecimiento.

A medida que los microorganismos van creciendo se aglutinan formando los lodos activados; estos, más el agua residual, fluyen a un tanque de sedimentación secundaria en donde sedimentan los lodos. Los efluentes del sedimentador pueden ser descargados a una corriente receptora; parte de los lodos son devueltos al tanque con el fin de mantener una alta población bacteriana para permitir una oxidación rápida de la materia orgánica.

- Biodisco: es tan eficaz como los lodos activados; requiere un espacio mucho menor, es fácil de operar y tiene un consumo energético inferior. Está formado por una estructura plástica de diseño especial, dispuesto alrededor de un eje horizontal. Según la aplicación puede estar sumergido de un 40 a un 90% en el agua por tratar. Sobre el material plástico se desarrolla una película de microorganismos, cuyo espesor se autorregula por el rozamiento con el agua. En la parte menos sumergida, el contacto periódico con el aire exterior es suficiente para aportar el oxígeno necesario para la actividad celular.

- Lagunaje: el tratamiento se puede realizar en grandes lagunas con largos tiempos de retención (1-3 días) que les hace prácticamente insensibles a las variaciones de carga, pero que requieren terrenos muy extensos. La agitación debe ser suficiente para mantener los lodos en suspensión, excepto en la zona más inmediata a la salida del efluente.

Figura 7. Tipos de lagunas de estabilización. Laguna anaeróbica

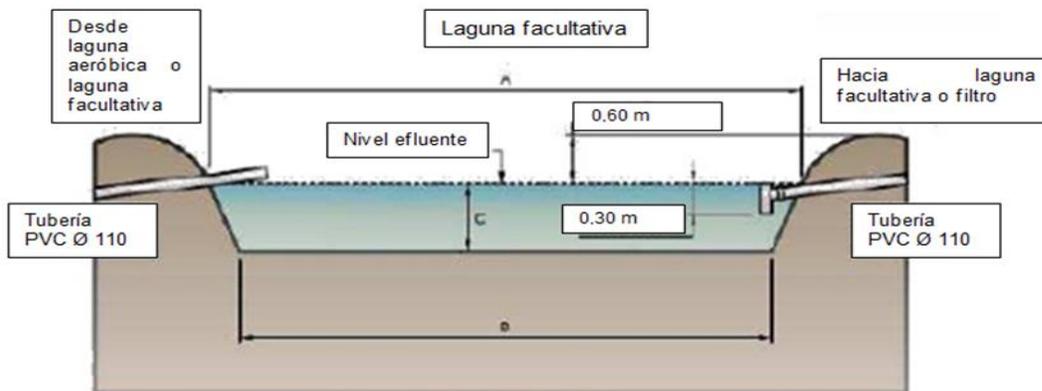


Fuente: *Ventajas y desventajas del tratamiento.*

http://www.academia.edu/7309019/Ventajas_y_desventajas_del_tratamientos.

Consulta: mayo 2017.

Figura 8. Tipos de lagunas de estabilización. Laguna facultativa



• Fuente: *Ventajas y desventajas del tratamiento.*

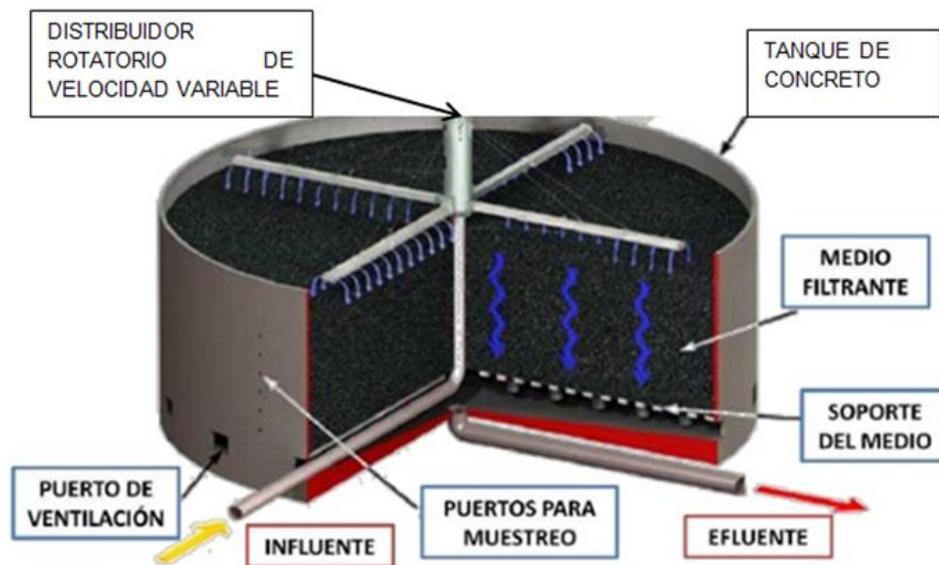
http://www.academia.edu/7309019/Ventajas_y_desventajas_del_tratamientos.

Consulta: mayo 2017.

- Filtro biológico: está formado por un reactor, en el cual se ha situado un material de relleno sobre el que crece una película de microorganismos aeróbicos con aspecto de limos.

La altura del filtro puede alcanzar hasta 12 metros. El agua residual se descarga en la parte superior mediante un distribuidor rotativo cuando se trata de un tanque circular. A medida que el líquido desciende a través del relleno entra en contacto con la corriente de aire ascendente y los microorganismos. La materia orgánica se descompone lo mismo que con los lodos activados, dando más material y CO₂.

Figura 9. **Detalle filtro biológico**



- Fuente: *Ventajas y desventajas del tratamiento.*

http://www.academia.edu/7309019/Ventajas_y_desventajas_del_tratamientos.

Consulta: mayo 2017.

- Tratamientos terciarios: su objetivo es remover contaminantes específicos, usualmente tóxicos o compuestos no biodegradables, o la remoción complementaria de contaminantes no suficientemente removidos en el tratamiento secundario.

Como medio de filtración se puede emplear arena, grava antracita o una combinación de ellas. El pulido de efluentes de tratamiento biológico se suele hacer con capas de granulometría creciente, duales o multimedia, filtrando en arena fina trabajando en superficie. Los filtros de arena fina son preferibles cuando hay que filtrar flóculos formados químicamente y aunque su ciclo sea más corto, pueden limpiarse con menos agua.

La adsorción con carbón activo se utiliza para eliminar la materia orgánica residual que ha pasado el tratamiento biológico.

1.3. Problemática de aguas residuales

Las aguas residuales son uno de los principales problemas para la sociedad, debido a los peligros que representa para el medio ambiente; en muchos países es un problema ambiental puesto que contaminan de una manera irracional los ecosistemas en donde son vertidas.

Los contaminantes de las aguas servidas municipales son los sólidos suspendidos y disueltos que consisten en materias orgánicas e inorgánicas, nutrientes, aceites y grasas, sustancias tóxicas, y microorganismos patógenos. El agua de lluvia urbana puede contener los mismos contaminantes, a veces en concentraciones sorprendentemente altas.

Los problemas asociados a las aguas residuales generadas en centros de salud han sido motivo de preocupación internacional debido al peligro de una potencial propagación de enfermedades y a los riesgos ambientales derivados de la ausencia de tratamientos adecuados.

Las aguas residuales hospitalarias contienen una gran variedad de sustancias tóxicas y persistentes, como residuos farmacéuticos, químicos radioactivos, solventes, entre otros, difíciles de tratar por métodos convencionales.

Cuando las aguas servidas son recolectadas pero no tratadas correctamente antes de su eliminación o reutilización, existen los mismos peligros para la salud pública en el punto de descarga.

Si dicha descarga es en aguas receptoras, se presentarán peligrosos efectos adicionales (p.ej. el hábitat para la vida acuática y marina es afectada por la acumulación de los sólidos; el oxígeno es disminuido por la descomposición de la materia orgánica; y los organismos acuáticos y marinos pueden ser perjudicados aún más por las sustancias tóxicas, que pueden extenderse hasta los organismos superiores por la bioacumulación en las cadenas alimenticias).

Si la descarga entra en aguas confinadas, como un lago o una bahía, su contenido de nutrientes puede ocasionar la eutrofización, con molesta vegetación que puede afectar a las pesquerías y áreas recreativas. Los desechos sólidos generados en el tratamiento de las aguas servidas (grava, cerniduras, lodo primario y secundario) pueden contaminar el suelo y las aguas si no son manejados correctamente.

Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales, en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales.

Los proyectos de aguas servidas son ejecutados a fin de evitar o aliviar los efectos de los contaminantes descritos anteriormente en cuanto al ambiente humano y natural; cuando son ejecutados correctamente, su impacto total sobre el ambiente es positivo. Los impactos directos incluyen la disminución de molestias y peligros para la salud pública en el área de servicio, mejoramientos en la calidad de las aguas receptoras, y aumentos en los usos beneficiosos de las aguas receptoras.

Adicionalmente, la instalación de un sistema de recolección y tratamiento de las aguas servidas posibilita un control más efectivo de las aguas servidas industriales mediante su tratamiento previo y conexión con el alcantarillado público, y ofrece el potencial para la reutilización beneficiosa del efluente tratado y del lodo.

Los impactos indirectos incluyen la provisión de sitios de servicio para el desarrollo, mayor productividad y rentas de actividades y rentas turísticas y recreativas, mayor productividad agrícola y forestal y/o menores requerimientos para los fertilizantes químicos, en caso de ser reutilizado el efluente y el lodo, y menores demandas sobre otras fuentes de agua.

1.3.1. Riesgos causados por las aguas residuales

Los desechos humanos sin un tratamiento apropiado, eliminados en su punto de origen o recolectados y transportados, presentan un peligro de infección parasítica (mediante el contacto directo con la materia fecal), hepatitis y varias enfermedades gastrointestinales (mediante la contaminación de la fuente de agua y la comida).

La población más vulnerable a estos riesgos son las personas de escasos recursos, que habitan en lugares aledaños a los desfuegos de aguas negras y no tienen una fuente confiable de agua potable.

1.3.2. Enfermedades transmitidas por contaminación de las aguas

La exposición prolongada a un contaminante puede reducir en varios años la esperanza de vida de un ser humano. La contaminación es un factor de riesgo para la salud de las personas, y puede producir enfermedades y otros trastornos.

Vías de exposición:

- Vía cutánea-mucosa: la entrada en el organismo puede producirse por contacto directo con el foco de contaminación, donde los gérmenes penetran a través de heridas, directamente a través de la dermis o de las mucosas conjuntivas en el caso que se produzcan salpicaduras en los ojos. También se pueden dar dermatitis (irritación de la piel) por el contacto con las aguas residuales y con el polvo de los lodos.

- Vía respiratoria: la contaminación respiratoria está provocada esencialmente por los gases emitidos y el viento que puede transportar diversos microorganismos.
- Vía digestiva: esta contaminación ocurre esencialmente a través de las manos, directamente (manos sucias llevadas a la boca) o indirectamente (a través de alimentos), aunque también puede darse de forma accidental por proyección.
- Vectores: son organismos vivos que pueden transmitir enfermedades infecciosas entre personas, o de animales a personas. Muchos de esos vectores son insectos hematófagos que ingieren los microorganismos patógenos junto con la sangre de un portador infectado (persona o animal), y posteriormente los inoculan a un nuevo portador al ingerir su sangre.

Los mosquitos son los vectores de enfermedades mejor conocidos. Garrapatas, moscas, flebótomos, pulgas, triatominos y algunos caracoles de agua dulce también son vectores de enfermedades.

- El aumento de los niveles de contaminación en las ciudades se ha visto reflejado en un incremento en los ingresos hospitalarios y en el registro de más casos de enfermedades cardiovasculares y pulmonares. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, la mortandad ha aumentado a causa de la contaminación ambiental, y la polución es uno de los primeros riesgos para la salud.

- Las enfermedades más comunes y peligrosas son el cólera, fiebre tifoidea, shigella, poliomielitis, meningitis, hepatitis, diarrea.
- Las enfermedades transmitidas por vectores son trastornos causados por agentes patógenos, entre ellos los parásitos, en el ser humano. "En todo el mundo se registran cada año más de 1 000 millones de casos y más de 1 millón de defunciones como consecuencia de enfermedades transmitidas por vectores, tales como el paludismo, dengue, esquistosomiasis, tripanosomiasis africana humana, leishmaniasis, enfermedad de Chagas, fiebre amarilla, encefalitis japonesa y oncocercosis."⁴
- "Las enfermedades transmitidas por vectores representan más del 17% de todas las enfermedades infecciosas."⁵
- Enfermedades diarreicas agudas (EDA): son enfermedades infecciosas producidas por virus, bacterias, hongos o parásitos, que afectan principalmente a niños menores de cinco años. Mundialmente causan un promedio 4,6 millones de muertes infantiles anuales, de los cuales el 70% ocurre por deshidratación, complicación más frecuente y grave de la enfermedad. Los cuadros diarreicos suelen presentarse frecuentemente en la temporada de verano; una de las variaciones más graves es el cólera.

⁴ *Enfermedades transmitidas por vectores.* www.msaludgo.gov.ar. Consulta: septiembre de 2017.

⁵ *Ibid.*

Hay tres tipos clínicos de enfermedades diarreicas:

- La diarrea acuosa aguda, que dura varias horas o días, y comprende el cólera.
- La diarrea con sangre aguda, también llamada diarrea disintérica o disentería.
- La diarrea persistente, que dura 14 días o más.

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Desechos hospitalarios generados

Los desechos hospitalarios son peligrosos para el equilibrio ecológico y la salud pública. Un tratamiento ineficiente puede conducir a brotes de enfermedades, contaminación del agua y contaminación radiactiva. Según datos obtenidos del manual para el manejo de desechos hospitalarios del Hospital de Amatlán, cada paciente hospitalizado genera una media de 6,6 kg diarios (14,4 libras) de residuos sólidos y consume 800 litros de agua en promedio.

Con cobertura para más de 2 millones de personas de las áreas aledañas, el Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán brinda servicios médicos además de proyección social en el campo de la salud. Cada año, este hospital atiende a un promedio de 40 524 personas; incluye los servicios esenciales para dar tratamiento, hospitalización y seguimiento a quienes lo requieren, así como el apoyo para establecer diagnósticos inmediatos, como área de laboratorio clínico, rayos X, tomografías, banco de sangre y otros tipos de servicios que son importantes en la recuperación y rehabilitación de pacientes.

Tabla I. **Cartera de servicios Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán**

<p>Consulta externa clínicas: Funciona de lunes a viernes en horario de 7:00 a 15:00 horas</p>	
	Pediatría
	Medicina interna
	ARO
	Nosocomiales
	Odontología
	Gineco-obstetricia
	Clasificación
	Cirugía
	Terapia respiratoria
	Traumatología
	Trabajo social
	Nutrición
	Electrocardiografía
Paciente hipertenso	
Cirugía menor	
Laboratorio clínico funciona las 24 horas.	
Farmacia de 8:00 a 16:30 horas.	
Farmacia de 24 horas.	
Lavandería de 7:00 a 15:30 horas.	

Continuación de la tabla I.

Servicio de emergencia	Clínica de pediatría
	Clínica de cirugía
	Clínica traumatología
	Clínica Gineco-Obstetricia
	Clínica de violencia sexual
Servicios internos	Medicina de hombres
	Cirugía de hombres
	Medicina de mujeres
	Cirugía de mujeres
	Labor y partos
	Posparto
	Recién nacidos
	Pediatría
	Traumatología pediátrica
	Cirugía pediátrica y medicina
	Unidad de quemados
	Intensivo pediátrico y neonatal
	Intensivo adulto
	Sala de operaciones
	Ginecología
Psicología	

Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo.

Los principales aspectos ambientales que se identifican normalmente en las actividades y áreas hospitalarias proceden de los siguientes focos:

- Calderas y generadores de vapor para la producción de vapor y agua caliente sanitaria para uso y calefacción.
- Emisiones de vehículos pertenecientes al área hospitalaria.
- Emisiones de grupos electrógenos.
- Residuos generales asimilables a urbanos.
- Residuos sanitarios asimilables a urbanos.
- Residuos sanitarios peligrosos.
- Residuos químicos y citostáticos.
- Residuos de papel y cartón.
- Excreciones y secreciones de personas tratadas en general y/o con radioisótopos.
- Medicación derivada del tratamiento hospitalario.
- Residuos líquidos de diálisis.
- Residuos líquidos de todo tipo de tratamiento hospitalario.

En la siguiente tabla se muestra la actualidad del Hospital en cuanto a su producción en el mes de abril (21, 22 y 23) del año 2015.

Tabla II. **Producción del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán (21 abril)**

Servicio	Camas activas	Camas disponibles	Camas servicios	Total	% Ocupación
Medicina de hombres	14	1	15	15	93
Medicina de mujeres	9	3	12	12	75
Cirugía de hombres	25	-4	21	21	119
Cirugía de mujeres	15	8	23	23	65
Ginecología	0	10	10	10	0
Maternidad	12	14	26	26	46
Cirugía pediátrica	2	6	8	8	25
Trauma pediátrica	2	1	3	3	67
Medicina pediátrica	7	16	23	23	30
Unidad de quemados	1	7	8	8	13
Traumatología mujeres	2	4	6	6	33
Traumatología hombres	3	5	8	8	38
Recién nacidos	5	2	7	7	71
Total	97	73	170	170	57

Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo.

Tabla III. Producción del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán (22 abril)

Servicio	Camas activas	Camas disponibles	Camas servicios	Total	% Ocupación
Medicina de hombres	14	1	15	15	93
Medicina de mujeres	9	3	12	12	75
Cirugía de hombres	25	-4	21	21	119
Cirugía de mujeres	14	9	23	23	61
Ginecología	0	10	10	10	0
Maternidad	13	13	26	26	50
Cirugía pediátrica	1	7	8	8	13
Trauma pediátrica	2	1	3	3	67
Medicina pediátrica	7	16	23	23	30
Unidad de quemados	1	7	8	8	13
Traumatología mujeres	2	4	6	6	33
Traumatología hombres	3	5	8	8	38
Recién nacidos	5	2	7	7	71
Total	96	74	170	170	56

Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo.

Tabla IV. **Producción del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán (23 abril)**

Servicio	Camas activas	Camas disponibles	Camas servicios	Total	% Ocupación
Medicina de hombres	14	1	15	15	93
Medicina de mujeres	11	1	12	12	92
Cirugía de hombres	24	-3	21	21	114
Cirugía de mujeres	15	8	23	23	65
Ginecología	0	10	10	10	0
Maternidad	13	13	26	26	50
Cirugía pediátrica	2	6	8	8	25
Trauma pediátrica	3	0	3	3	100
Medicina pediátrica	8	16	23	23	35
Unidad de quemados	2	6	8	8	25
Traumatología mujeres	2	4	6	6	33
Traumatología hombres	3	5	8	8	38
Recién nacidos	6	1	7	7	86
Total	103	67	170	170	61

Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo.

En la tabla siguiente se presentan un resumen de las consultas realizadas en el Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán, en los años 2015 y 2016:

Tabla V. **Resumen consultas registradas**

Año	2015	2016
Ene	12 065	9 754
Feb	12 239	11 805
Mar	12 567	12 302
Abr	13 774	14 531
May	15 208	13 975
Jun	11 714	11 745
Jul	11 541	10 450
Ago	14 503	14 112
Sep	14 047	9 240
Oct	13 064	10 496
Nov	7 360	11 645
Dic	9 269	13 265
Total	147 351	143 320

Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo.

2.1.1. Desechos sólidos

Los desechos generados como consecuencia de la actividad del área hospitalaria comprenden tanto los residuos sanitarios como los no sanitarios, sean o no peligrosos. De acuerdo con la bibliografía consultada, “se estima que entre un 75% y un 90% de los desechos originados en instituciones de salud carece de riesgo alguno y es de por sí asimilable a los desechos domésticos, y que un 10% a 25% sería potencialmente dañino.”⁶

⁶ LEÓN LEÓN, Mónica Catalina. *Caracterización físico-química, biológica y eco toxicológico del agua residual de un hospital de la ciudad de Cuenca*. Universidad de Cuenca. p. 34.

Figura 10. **Instalaciones para el almacenamiento temporal de desechos sólidos comunes**



Fuente: elaboración propia.

- Desechos generales asimilables a urbanos: son los residuos que se generan fuera de la actividad asistencial del área hospitalaria, que no precisan medidas especiales en su gestión. También se denominan residuos urbanos o municipales.

- Desechos sanitarios similares a urbanos: son los residuos que se producen como consecuencia de la actividad asistencial y/o de investigación asociada, que no están incluidos entre los considerados como residuos sanitarios peligrosos al no reconocérseles peligrosidad real ni potencial, según los criterios científicamente aceptados.
- Desechos peligrosos: son aquellos que figuran en la lista de residuos que han sido calificados como peligrosos por la normativa internacional, Organización Mundial de la Salud (OMS) y los recipientes y envases que los hayan contenido; además de los que pueda aprobar el gobierno de conformidad.
- Desechos peligrosos sanitarios: son los residuos producidos en la actividad asistencial y/o de investigación asociada, que conllevan algún riesgo potencial para los empleados o para el medio ambiente. Es necesario observar medidas de prevención en su manipulación, recogida, almacenamiento, transporte, tratamiento y eliminación.

La situación actual del manejo de los desechos sólidos hospitalarios (DSH) en el hospital se puede ver en forma resumida en el cuadro que se muestra a continuación. Estos resultados se obtienen de una evaluación inicial con los formatos del instrumento para la verificación del manejo de los DSH.

Esta lista de verificación constituye una de las herramientas operativas para la supervisión del manejo de los residuos sólidos hospitalarios en un establecimiento de salud. Puede ser aplicada a nivel central, intermedio o local. Recoge información del grado de cumplimiento de los requisitos establecidos en el Acuerdo Gubernativo 509–2001 “Reglamento para el manejo de los desechos

sólidos hospitalarios”, para cada una de las etapas del manejo de los mismos tanto por servicios individualizados como por áreas generales del establecimiento de salud, ya que permite evaluar rápidamente la situación en que se encuentra cada una de las etapas analizadas.

Tabla VI. **Manejo de los residuos sólidos hospitalarios**

	Áreas de mejoramiento	Punteo	%	Valoración
1	Acondicionamiento	8	100	Aceptable
2	Segregación y almacenamiento primario	4	50	Deficiente
3	Almacenamiento temporal	6	86	Aceptable
4	Transporte interno	9	64	Deficiente
5	Almacenamiento intermedio o centro de acopio	5	63	Deficiente
6	Recolección externa	3	100	Aceptable
			77%	

Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo.

Se cuenta con el registro de producción de desechos sólidos hospitalarios, tal y como se muestra en los cuadros de registro del año 2015.

Tabla VII. **Producción del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán. Consolidado de producción de desechos (libras) de enero a diciembre 2015**

Tipo Desecho	Mes											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Común	25 000	14 815	14 262	12 018	10 900	15 400	11 994	10 057	10 995	13 057	15 185	15 665
Bioinfeccioso	16 600	13 200	8234	17 140	6255	18 740	16 540	6 432	7 147	9 140	13 961	14 310
Punzocortante	345	870	290	250	212	320	240	647	185	230	892	914
Especial	0	325	845	1 340	624	1 580	1 120	205	700	880	333	341
Placenta	0	0	0	0	0	0	98	129	354	225	0	0

Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo.

Tabla VIII. **Producción DSH del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán. Resumen**

Desecho	Total	%	Promedio / mes	%
Común	169 822	51,08	14 152	51,08
Bioinfeccioso	148 179	44,57	12 348	44,57
Punzocortante	5 395	1,62	450	1,62
Especial	8 293	2,49	691	2,49
Placenta	806	0,24	67	0,24
	332 495		27 708	

Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo.

Se debe tener un control exhaustivo del manejo de desechos sólidos, ya que debido a malas prácticas pueden ser vertidos en los desagües y reposaderas, tapando el sistema de drenajes o contaminándolo con agentes que pueden resultar sumamente dañinos y difícilmente se les puede dar un tratamiento adecuado en el sistema de aguas residuales.

Por esta razón, es de suma importancia capacitar al personal de mantenimiento y concienciar a los pacientes del hospital para que hagan uso adecuado de las instalaciones y depósitos designados para los desechos.

Figura 11. **Manejo de desechos sólidos peligrosos**



Fuente: elaboración propia.

Actualmente, el monitoreo, evaluación y la disposición final de los DSH generados por el Hospital está a cargo de empresa privada especializada en esta actividad (ECOTERMO).

Figura 12. Instalaciones para almacenamiento temporal de desechos sólidos hospitalarios peligrosos



Fuente: elaboración propia.

2.1.2. Desechos líquidos

Los indicadores de la contaminación viral del agua superficial como enterovirus y adenovirus, son identificados en los efluentes de un hospital. Los enterovirus también se encuentran presentes en cantidades importantes en las aguas residuales. A su vez, el VIH, agente causal del sida, fue aislado de excreciones biológicas de personas infectadas.

Estos efluentes líquidos son vertidos directamente en el drenaje de la red de los laboratorios y de los hospitales a la red de alcantarillado municipal lo que puede contribuir, bajo ciertas condiciones fisicoquímicas, a la presencia del virus en las redes urbanas del alcantarillado.

El volumen generado de aguas residuales unido a la cuantía de los indicadores medio ambientales físicos, químicos y microbiológicos, permite conocer el riesgo sanitario cuando se disponen sin tratamiento a las aguas superficiales y subterráneas. La caracterización química y microbiológica de las aguas residuales hospitalarias en cada instalación, es una de las etapas iniciales en los procesos de gestión para emprender las acciones que impidan vertimientos inadecuados al medio ambiente.

Es necesario evaluar las características físicas, químicas y biológicas del agua residual, a fin de establecer las cargas orgánicas y de sólidos que transportan, determinar efectos del vertimiento a cuerpos de agua y seleccionar las operaciones y procesos de tratamiento que resultaran más eficaces y económicos.

Figura 13. Instalaciones del sistema de drenajes del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán



Fuente: elaboración propia.

2.2. Contaminación del río Michatoya debido a las aguas residuales

El río Michatoya se forma por el desagüe del lago de Amatitlán, Guatemala. Se dirige al sur y entra en el río María Linda, del cual es el principal afluente; desde su confluencia con este es navegable en pequeñas embarcaciones

Cada año, las lluvias en época de invierno provocan un aumento el nivel del lago de Amatitlán, situación que genera inundaciones en colonias que se ubican a la orilla del lago y el desborde del río Michatoya. Actualmente, la

capacidad hidráulica del cauce del río Michatoya se considera en 12 metros cúbicos por segundo, con límite máximo 18 metros cúbicos por segundo.

Figura 14. **Contaminación del río Michatoya**



Fuente: PAREDES, ENRIQUE. <http://www.prensalibre.com/guatemala/escuintla/rio-michatoya-cambia-de-color>. Consulta: mayo de 2017.

Debido a los altos niveles de contaminación del río Michatoya se ha presentado una gran cantidad de denuncias, especialmente por parte de los pobladores de los municipios de Amatitlán y Palín. En muchas de estas ocasiones se han observado incluso cambios en la coloración de agua, que va desde verde hasta rojo, debido a la gran cantidad de químicos que se vierten al alcantarillado municipal, sin ningún tipo de tratamiento previo, que a su vez desfoga en el río.

Actualmente hay viviendas a las orillas del río Michatoya. Los habitantes de estas son pobladores de escasos recursos, mucho más vulnerables a enfermedades causadas por la contaminación en el río. Ocasionalmente, en época lluviosa el río se desborda y ha llegado a inundar muchas viviendas.

Figura 15. **Descargas de aguas residuales al río Michatoya**



Fuente: elaboración propia.

Gran cantidad de antibióticos son consumidos habitualmente en las instalaciones hospitalarias, y una vez administrados a los pacientes, son en parte excretados a través de las heces y orina, que forman parte de las aguas residuales hospitalarias.

2.3. Actualidad del manejo de aguas residuales del hospital

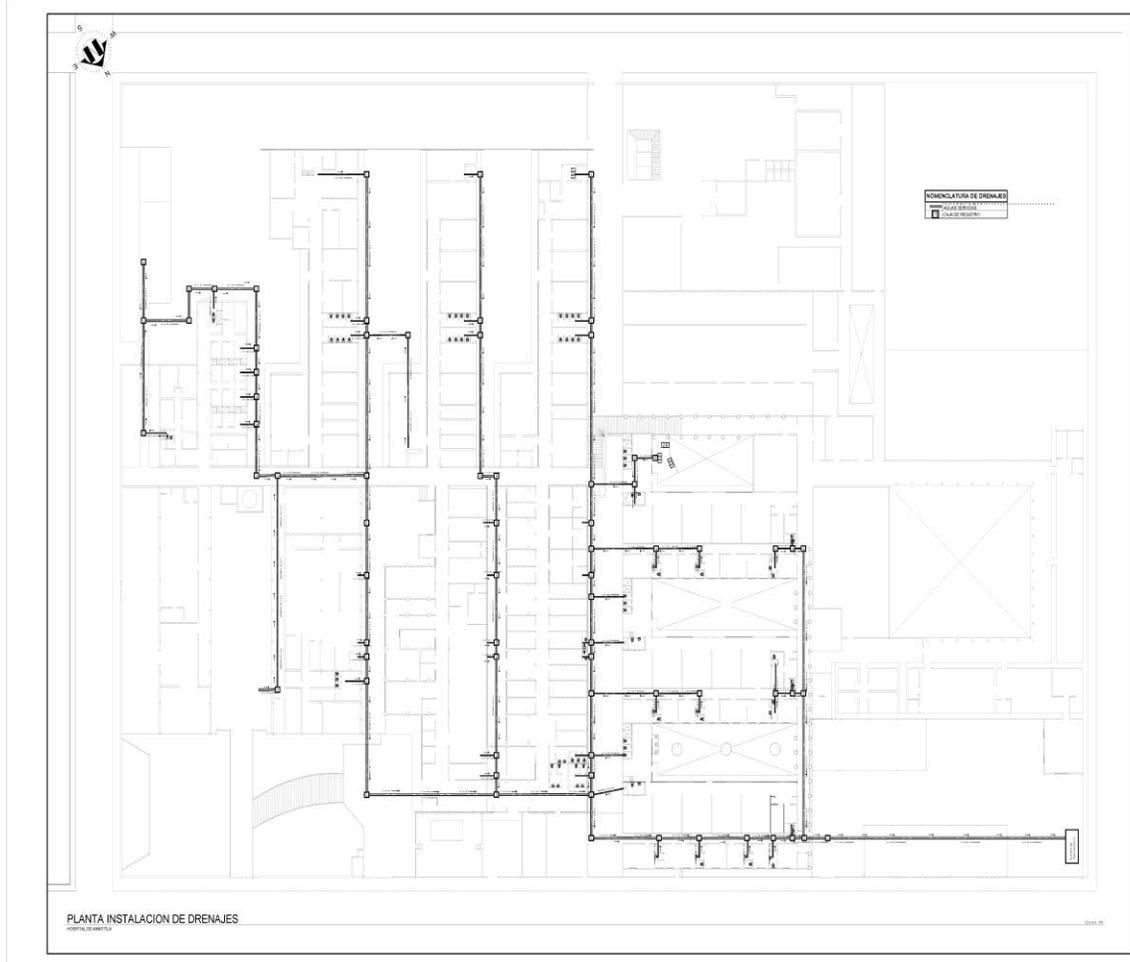
En el Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán se cuenta con un sistema de drenajes, en el que se conducen aguas pluviales y residuales de diferentes tipos. Este sistema de drenajes incluye los siguientes componentes:

- Tuberías
- Válvulas
- Cajas de registro y limpieza
- Pozos de absorción
- Fosa séptica

De acuerdo con el Informe de Evaluación de Infraestructura y Servicios del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán, “Los 150 años con los que cuenta el Hospital de Amatitlán, no han pasado en vano, el sistema de drenaje de aguas residuales original, es de mampostería, ladrillos pegados con cal y arena, el cual debe ser cambiado, al igual que el sistema de media caña que hace las funciones de drenaje pluvial del lugar, el cual debe cambiarse por tubería de PVC.”⁷

⁷ *Evaluación de Infraestructura y Servicios del Hospital Nacional de Amatitlán.* Unidad de Planificación Estratégica Departamento de Proyectos. Guatemala.

Figura 16. **Planta de drenajes Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán**



Fuente: elaboración propia empleando AutoCAD.

2.3.1. Caudal generado de aguas residuales internas

Debido a sus actividades, el hospital tiene un consumo alto de agua. El consumo doméstico de agua a nivel internacional se sitúa alrededor de 150 litros/persona/día. El valor admitido generalmente para los hospitales está dentro de rango de 400 a 1 200 litros/cama/día.

El hospital cuenta con 193 camas censales, por lo que la generación de aguas residuales total del hospital se puede encontrar hasta en un rango entre 77 200 y 231 600 litros diarios.

2.3.2. Manejo actual de aguas residuales

Una de las principales fuentes de contaminación del agua es la producida por los químicos y otros elementos, los que contaminan las aguas superficiales y subterráneas. Provocan impactos en la fauna y flora, como también en el consumo humano, ya que limita cada vez más el recurso inocuo.

Actualmente, en el Hospital no se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, por lo que el tratamiento que se le da es inadecuado, de acuerdo a los estándares de calidad. El desfogue de estas aguas es directamente a los drenajes municipales. Por lo delicado de estos residuos, al unirse a las aguas municipales que desfogan en los ríos provocan que el agua se contamine, lo que aumenta el riesgo de epidemias en la población.

De aquí surge la necesidad de la planta de tratamiento de aguas residuales para el Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán, ya que reducirá la contaminación generada por sus aguas residuales, con la consiguiente reducción del impacto ambiental causado por los contaminantes derivados de las actividades nosocomiales.

De acuerdo con los análisis realizados por el Laboratorio Nacional de Salud a las aguas residuales del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán, durante los años 2015 y 2016 se tuvieron los siguientes resultados:

Tabla IX. **Resultados análisis de aguas residuales Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán, año 2015**

Fecha: noviembre 2015	
Análisis	Resultado
DQO	689 mg/L
DBO ₅	400 mg/L
Color	1 434,7 Pt-Co
Solidos suspendidos totales	217 mg/L
Nitrógeno total	31 mg/L
Fósforo total	5,9 mg/L
Fecha: julio 2015	
Análisis	Resultado
DQO	2 305 mg/L
DBO ₅	1 384 mg/L
Color	6 100,9 Pt-Co
Solidos suspendidos totales	12,8 mg/L
Nitrógeno total	4,8mg/L
Fósforo total	2,59 mg/L

Continuación de la tabla IX.

Fecha: Octubre 2016 (muestra cirugía de hombres)	
Análisis	Resultado
DQO	1650 mg/L
DBO ₅	791 mg/L
Color	2508,6 Pt-Co
Sólidos suspendidos totales	540,4 mg/L
Nitrógeno total	41,5 mg/L
Fósforo total	6,45 mg/L
Fecha: Octubre 2016 (muestra cirugía de mujeres)	
Análisis	Resultado
DQO	901 mg/L
DBO ₅	327 mg/L
Color	975,03 Pt-Co
Sólidos suspendidos totales	231,3 mg/L
Nitrógeno total	13 mg/L
Fósforo total	0,05 mg/L

Fuente: elaboración propia con base en informes de Laboratorio Nacional de Salud.

De acuerdo con estudios y evaluaciones realizados en el hospital, por el Departamento de Proyectos de la Unidad de Planificación Estratégica del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, “Es imperativo construir una planta de tratamiento de aguas residuales, ya que las mismas son desfogadas sin tratamiento alguno al río Michatoya, contraviniendo el reglamento 236-2006 que refiere a “Descargas y Reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos”.⁸

⁸ *Evaluación de infraestructura y servicios del hospital nacional de amatitlán.* Unidad de Planificación Estratégica Departamento de Proyectos. Guatemala.

2.3.3. Consumo y disposición del agua

Los hospitales son instituciones que generalmente se encuentran ocupadas las 24 horas del día durante todo el año. Aunque sus instalaciones son diseñadas para un largo período, en la práctica, su utilización es todavía más intensa a la que pueden soportar.

De acuerdo con la Evaluación de Infraestructura y Servicios del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán, la situación de las instalaciones de agua para consumo, son las siguientes:

- El sistema de abastecimiento de agua no cuenta con tanque aéreo, ya que se quemaron las bombas de agua.
- La tubería de abastecimiento se encuentra en mal estado y en toda el área antigua es de HG (cambiar a PVC). En algunas partes se encuentra cancelada pero presentan fugas que humedecen los pasillos, principalmente.

Puede estimarse que el 80% del volumen de agua consumido en un hospital en un día corresponde a la generación de aguas residuales. El consumo de agua es un aspecto ambiental importante para el sector hospitalario, ya que en la mayoría de los procesos se hace uso de este recurso. La disminución en el consumo trae beneficios ambientales y económicos directos como:

- Uso eficiente de un recurso natural
- Disminución de la facturación por el consumo y la disposición
- Menor consumo de energía para generar agua caliente

- Menor gasto de aditivos químicos para circuitos cerrados

El agua potable en el Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán se emplea en usos generales como:

- Instalaciones sanitarias de habitaciones de pacientes y público general
- Lavandería
- Aseo y limpieza de las instalaciones
- Cocina y restaurantes
- Jardines

La reducción del consumo de agua puede empezar con la instalación de unos sencillos economizadores en los grifos, duchas e inodoros, los cuales permiten ahorros de hasta un 40%, sin restar comodidad al usuario. Estos simplemente impiden la salida de una cantidad de agua excesiva por medio de reductores de caudal, tales como microdispensores o aireadores.

Es importante tener en cuenta que al presentarse un ahorro en el consumo de agua se produce también un ahorro por la disminución en la generación de aguas residuales. Igualmente, puede conducir a un ahorro de energía, ya que el almacenamiento y el transporte del agua genera un consumo de este recurso. Así mismo, una reducción en el consumo de agua caliente significa un ahorro en el consumo de combustible en las calderas.

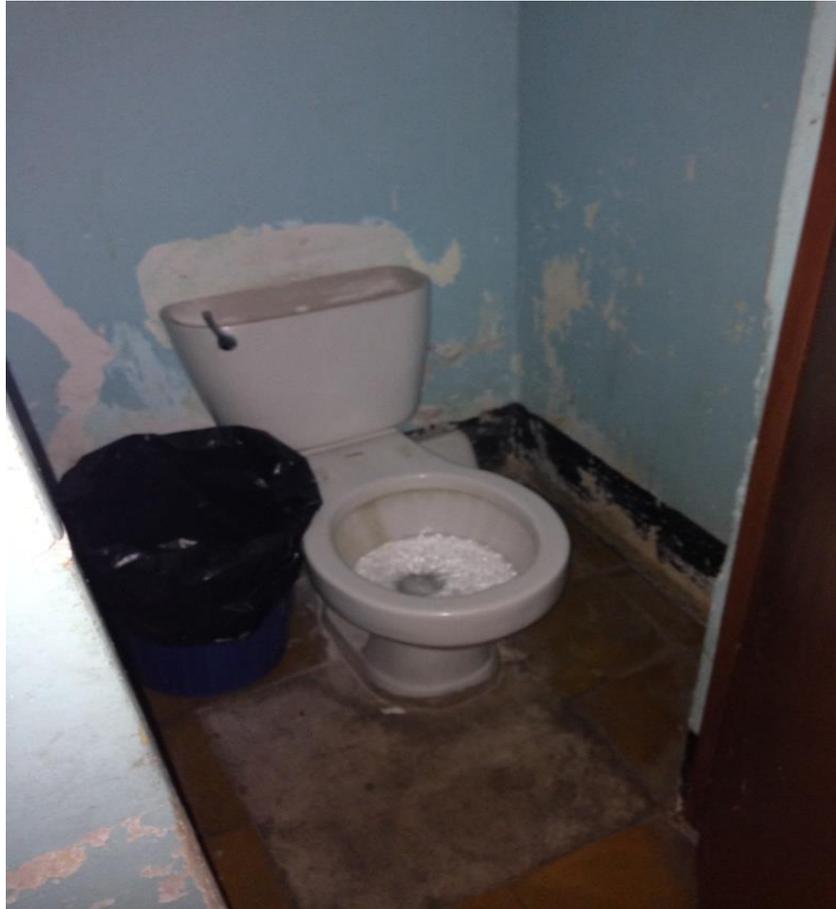
Actualmente en el hospital no se cuenta con ningún tipo de dispositivo de control de fugas, artefactos sanitarios ahorradores y el consumo de agua potable es bastante elevado, especialmente en las horas que funciona el área de lavandería.

El consumo promedio diario de agua potable es de aproximadamente 150 000 litros, ya que cuentan con un cisterna de 100 m³, 5 metros (ancho) * 5 metros (largo) * 4 metros (alto), el cual se consume en su totalidad durante transcurso de la mañana, ya que son las horas de funcionamiento de la lavandería y con mayor índice de ocupación de las instalaciones; durante el resto del día se consume aproximadamente la mitad de dicho tanque.

De acuerdo con la Evaluación de Infraestructura y Servicios del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán, la situación de los artefactos sanitarios es la siguiente:

- Todos se encuentran deteriorados y los elementos metálicos están oxidados. La tubería es galvanizada.
- La tubería de drenajes está en mal estado, en varios puntos está tapada y la han anulado.
- Las duchas se encuentran canceladas porque al abrirlas tienen fugas que humedecen los ambientes.
- Lavamanos y lavatrastos están en mal estado, los chorros y contrallaves en mal estado.
- El 30% de los servicios sanitarios se encuentran cancelados debido al deterioro de las válvulas de entrada de agua. Algunos tienen tapado el sifón.

Figura 17. **Situación servicios sanitarios**



Fuente: elaboración propia.

2.4. Ventajas de la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento eficiente de las aguas residuales permite devolver el líquido al ambiente natural y reducir el impacto y contaminación producidos por el consumo de agua, tanto en los hogares como a nivel industrial.

Entre los objetivos que se persiguen con la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, están:

- Solucionar el problema que se genera por la contaminación del agua
- Cumplir con las normas existentes en Guatemala
- Cumplir con los estándares de calidad
- Compromiso con el medio ambiente

Algunas de las ventajas de los sistemas de tratamiento de aguas residuales son:

- Favorecen la degradación de materia orgánica.
- Los lodos se utilizan como abono orgánico.
- Es una ventaja para aplicar a los sellos y certificaciones.
- Efluente de gran calidad y menor cantidad de sólidos en suspensión, influyendo en una reducción directa en otros parámetros de control de calidad del efluente.
- Consigue la reducción de la DBO₅.
- Reducción de nutrientes como nitrógeno y fósforo.

El reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006, en el artículo 26, presenta un modelo de reducción progresiva de cargas de DBO: “Los entes generadores que descarguen que descarguen al alcantarillado público, deberán reducir en forma progresiva la demanda bioquímica de oxígeno de las aguas residuales, conforme a los valores y etapas de cumplimiento de las fechas siguientes.”⁹

⁹ Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006, artículo 26.

Tabla X. **Modelo de reducción progresiva de cargas de DBO**

Etapa	UNO				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo 2011				
Duración en años	5				
Carga kilogramos/día	$3000 \leq EG \leq 6000$	$6000 \leq EG \leq 12000$	$12000 \leq EG \leq 25000$	$25000 \leq EG \leq 50000$	$50000 \leq EG \leq 250000$
Reducción porcentual	10	20	30	35	50
Etapa	DOS				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo 2015				
Duración en años	4				
Carga kilogramos/día	$300 \leq EG \leq 5500$	$55000 \leq EG \leq 100000$	$10000 \leq EG \leq 30000$	$30000 \leq EG \leq 50000$	$50000 \leq EG \leq 1250000$
Reducción porcentual	10	20	40	45	50
Etapa	TRES				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo 2020				
Duración en años	5				
Carga kilogramos/día	$3000 \leq EG \leq 5000$	$5000 \leq EG \leq 10000$	$10000 \leq EG \leq 30000$	$30000 \leq EG \leq 650000$	
Reducción porcentual	50	70	85	90	

Continuación de la tabla X.

Etapa	CUATRO	
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo 2024	
Duración en años	4	
Carga kilogramos/día	3000 ≤ EG ≤ 6000	4000 ≤ EG ≤ 7000
Reducción porcentual	40	60

EG = carga del ente generador, kg/día

Fuente: elaboración propia con base en el Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006.

De acuerdo con el artículo 27 del Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006, Parámetros de Calidad asociados con la demanda bioquímica de oxígeno, “Los entes generadores que descarguen aguas residuales del tipo especial al alcantarillado público, deben cumplir con las etapas del Modelo de reducción progresiva de cargas de DBO, del artículo 26 y con los valores del parámetro de calidad asociados a la DBO, que se presentan en el cuadro siguiente.”¹⁰

¹⁰ Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006, artículo 26.

Tabla XI. **Parámetros de calidad asociados con la DBO**

			Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo 2011	Dos de mayo 2015	Dos de mayo 2020	Dos de mayo 2024
			Etapa			
Parámetro	Dimensional	Valor inicial	UNO	DOS	TRES	CUATRO
DBO	Miligramos por litro	3500	1500	750	450	200

Fuente: elaboración propia con base en el Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006.

2.5. Identificación de normas y legislación por cumplir actualmente con relación al manejo de aguas residuales

En 1986, la Constitución Política de la República de Guatemala incorpora el criterio del uso sostenido, el cual busca equilibrar las demandas económicas con las sociales y ambientales. Declara pública todas las aguas y manda se emita una ley especial en la materia basada en el interés social y la necesidad de conservar el recurso hídrico.

A nivel nacional, es competencia de cada municipalidad la promoción y gestión ambiental de los recursos naturales de su respectivo municipio, lo cual involucra verificar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente. Para el desarrollo e implementación de un proyecto de una planta de tratamiento de aguas residuales, es necesario el cumplimiento de múltiples normas técnicas

ambientales, institucionales, entre otras; lo que permite la sostenibilidad del proyecto en el mediano y largo plazo.

En el diseño de la PTAR se deben tener en cuenta aspectos ambientales, de diseño, criterios técnicos, factores de ingeniería y consideraciones socioeconómicas y financieras, entre otros.

Leyes y Reglamentos actuales:

- Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006, tiene por objeto establecer criterios y requisitos que deben cumplirse en cuanto a la descarga y reúso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos, tendientes a promover la conservación y mejoramiento del recurso hídrico.

Incluye los criterios y requisitos que se deben cumplir en la descarga y reúso de aguas residuales, así como mecanismos de evaluación, control y seguimiento que tiendan a promover la conservación y mejoramiento del recurso hídrico. Recolección, tratamiento y disposición sanitaria de lodos sépticos; tratamiento de aguas residuales; control de la contaminación en cuencas hidrográficas y reúso de lodos sépticos; aguas residuales y residuos sólidos municipales.

- Código de Salud. Decreto No. 90-97 del Congreso de la República.
 - Artículo 1. Del derecho a la salud. Todos los habitantes de la República tienen derecho a la prevención, promoción,

recuperación y rehabilitación de su salud, sin discriminación alguna.

- Artículo 93: Acceso y cobertura. El Ministerio de Salud, de manera conjunta con las instituciones del sector, las municipalidades y la comunidad organizada, promoverá la cobertura universal de la población a servicios para la disposición final de excretas, la conducción y tratamientos de aguas residuales y fomentará acciones de educación sanitaria para el correcto uso de las mismas.
- La Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente, Decreto No. 68-86 del Congreso de la República.
- Código Municipal, Decreto No. 12-2002 del Congreso de la República.

3. PROPUESTA DE MANEJO DE AGUAS RESIDUALES EN EL HOSPITAL NACIONAL SAN JUAN DE DIOS DE AMATITLÁN

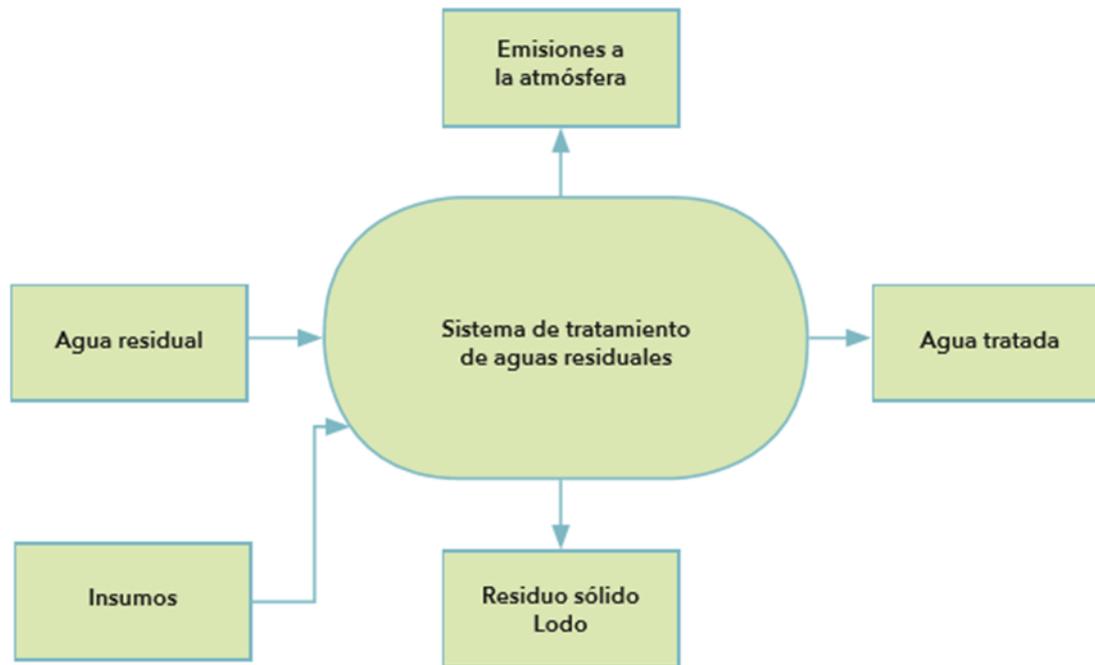
3.1. Plantas de tratamiento de aguas residuales

Los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen diferentes tecnologías o necesitan de mayores inversiones en maquinaria y espacios físicos

El objetivo fundamental del tratamiento de las aguas residuales es lograr niveles de calidad apropiados para los usos que se le quiera dar. Los tipos de tratamiento utilizados son muy variados y se califican de acuerdo a diferentes criterios, entre los cuales podemos mencionar el grado de depuración que deseemos obtener y los principios utilizados en cada proceso.

El proceso de tratamiento inicia por la recolección del agua residual por medio de tuberías que la conducen a plantas de tratamiento en las que se realiza el proceso de descontaminación a nivel físico, químico y biológico que permita una depuración total de dichas aguas.

Figura 18. **Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales**



Fuente: NOYOLA, Adalberto, MORGAN SAGASTUME, Juan Manuel y GUERECA, Patricia Leonor. *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. p.15.

3.2. Tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales

Las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden tener diferentes modos de funcionamiento, dependiendo del nivel de purificación que realicen del agua y de los procesos que empleen durante ese proceso. Sin embargo, existen algunos procesos básicos en los que la mayoría de las plantas presentan similitudes.

En términos generales, se distinguen dos tipos de sistemas de tratamiento de aguas residuales: los que emplean procesos fisicoquímicos y los que se sustentan en procesos biológicos. Estos últimos se distinguen a su vez en procesos aerobios y procesos anaerobios, dependiendo de si requieren para su operación del suministro de aire o no.

El funcionamiento óptimo de la planta en todas sus etapas es imprescindible para proporcionar un resultado final que cumpla con los requerimientos especificados a nivel ambiental.

3.2.1. Planta de tratamiento anaeróbica

La digestión anaerobia es una tecnología utilizada a nivel mundial para el tratamiento de diversos tipos de aguas residuales. Se caracteriza por su capacidad para remover materia orgánica, producción de energía alterna (biogás) y bajo consumo de energía. Es un proceso muy utilizado para tratar aguas residuales fuertes, procedentes de industrias con una base biológica, en donde los residuos tienen un contenido de materia orgánica comparable a los lodos espesados.

“Tratamiento anaeróbico: proceso de tratamiento de aguas residuales que se apoya en los procesos de digestión anaeróbica en el cual se utilizan bacterias que se alimentan del sustrato sobre el cual crecen, en ausencia de oxígeno.”¹¹ Las principales ventajas de los procesos anaerobios son:

¹¹ Lineamientos sobre el manejo de aguas residuales municipales. PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. ISBN No: 92-807-2721-4. 2004. p. 17.

- Bajo consumo de energía, bajo costo operacional.
- Baja demanda de área.
- Bajos costos de implantación, del orden de 20 a 30 dólares per cápita.
- Posibilidad de preservación de biomasa, sin alimentación del reactor por varios meses.
- Tolerancia a elevadas cargas orgánicas.
- Aplicabilidad en pequeña y gran escala.
- Bajo consumo de nutrientes.

El tratamiento anaeróbico es una tecnología bastante conocida en la depuración de aguas residuales a nivel de tratamiento secundario, típicamente en lo que se refiere a reactores anaeróbicos de flujo ascendente y manto de lodos (RAFA).

3.2.2. Planta de tratamiento aeróbica

“Tratamiento aeróbico: proceso de tratamiento de aguas residuales en el cual se utilizan bacterias y otros organismos que se alimentan de desechos, los cuales son descompuestos, tomando oxígeno disuelto de sus alrededores.”¹² A continuación se presentan algunos de los beneficios y limitaciones de este proceso:

- Mayor eficiencia de remoción.
- Operatividad comprobada.
- 50% de C es convertido en CO₂, 40-50%, es incorporado dentro de la masa microbiana.

¹² Lineamientos sobre el manejo de aguas residuales municipales. PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. ISBN No: 92-807-2721-4. 2004. p. 17.

- 60% de la energía es almacenada en la nueva biomasa, 40% es liberado como calor.
- Ingreso de elevada energía para aireación, que deben ser suministrados por aireadores o compresores.
- Limitación de cargas orgánicas.
- Se requiere adición de nutrientes.
- Necesidad de grandes extensiones de terrenos.
- Sensible a economía de escala.
- Períodos de arranque cortos.
- Tecnología establecida.
- Los lodos producidos en el tratamiento aerobio son de 5 a 10 veces superiores en cantidad a los anaeróbicos, debido a la gran producción de materia orgánica celular degradable que contienen (por verificarse en estos una mayor síntesis celular); además de deshidratarlos, deben incinerarse para evitar polución.

3.3. Planta aeróbica vs planta anaeróbica

A continuación se presenta un análisis de los diferentes tipos de procesos biológicos, de acuerdo a si requieren para su operación del suministro de aire o no.

- Los sistemas anaeróbicos tienen la ventaja de no requerir aireación, por lo que la demanda de energía es mucho menor y no requiere de mano de obra calificada. Ambos insumos son el mayor impacto en la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Los sistemas aeróbicos requieren un gran gasto de energía para asegurar que las bacterias tengan los niveles adecuados de oxigenación,

a pesar de las altas cargas orgánicas. Lo anterior causa que los costos de operación de estas plantas sean muy elevados pero a su vez las aguas residuales obtienen un mayor grado de tratamiento, lo cual es de suma importancia para cumplir con los límites de contaminación permitidos por la legislación de Guatemala.

Tabla XII. **Planta aeróbica vs planta anaeróbica**

Parámetro	Anaerobio	Aerobio
Requerimientos de energía	Bajos	Altos
Grado de tratamiento	Moderado (60 a 90 %)	Alto (95 %)
Producción de lodos	Baja	Alta
Estabilidad del proceso (a compuestos tóxicos y sobrecargas)	Baja a moderada	Moderada a alta
Olor	Problemas potenciales	Menores posibilidades
Requerimientos de alcalinidad	Alto para ciertos desechos industriales	Bajos
Producción de biogás	Si	No
Costos de inversión	Menor	Mayor
Costos de operación	Menor	Mayor

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la tabla XII, se realizan los siguientes comentarios:

- Una planta de tratamiento aeróbica proporciona un mayor tratamiento a las aguas residuales, pero representa un costo más elevado y el requerimiento de mano de obra calificada para su funcionamiento.
- Debido a las condiciones nacionales y la crisis que atraviesa el sistema hospitalario público de Guatemala, los costos de operación y mantenimiento de la PTAR deben ser los más bajos posibles, ya que no se cuenta con los recursos necesarios.
- De acuerdo con las características físicas y químicas de las aguas residuales del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán, estas no necesitan un tratamiento tan intensivo como el de las industrias (tratamiento aeróbico).

Tabla XIII. **Valores de biodegradabilidad del agua residual**

Relación DBO₅/DQO	Biodegradabilidad del agua residual
≤ 0,20	Poco biodegradable
0,20 - 0,40	Biodegradable
≥ 0,40	Muy biodegradable

Fuente: elaboración propia.

3.4. Alternativa recomendada

La implementación de un proyecto de tratamiento de aguas residuales conlleva el cumplimiento de múltiples normas técnicas ambientales e

institucionales, entre otras, lo que permite la sostenibilidad del proyecto en el mediano y largo plazo. Para elaborar la propuesta se consideraron datos sobre la población, servicio y dotación de agua potable y el caudal de agua residual producido.

Se tomaron muestras del agua residual, que posteriormente fueron analizados. De acuerdo con los resultados (ver anexo No. 1), se tienen los siguientes datos:

- Muestra No. 1 Caja de registro cirugía de hombres
DQO 2650,0 mg/L
DBO₅ 791,0 mg/L
Relación DBO₅/DQO = 0,29 (biodegradable)
- Muestra No. 2 Caja de registro cirugía de mujeres
DQO 971,0 mg/L
DBO₅ 273,0 mg/L
Relación DBO₅/DQO = 0,28 (biodegradable)

De acuerdo con estos resultados y los valores de la tabla XIII, las aguas residuales del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán pueden ser tratadas con un proceso biológico como el propuesto.

Figura 19. Puntos de muestreos de agua residual, Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán



Fuente: elaboración propia.

Como resultado del trabajo realizado, se determinaron características de la red de distribución de agua potable, red de drenajes y sistema de disposición de las aguas residuales.

Tabla XIV. **Comparación de alternativas PTAR Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán**

Descripción criterio	Tipo de sistema	
	Anaerobio	Aerobio
Área requerida	Pequeña	Grande
Localización de las unidades	Superficiales o enteradas	Superficiales
Eficiencia remoción de la DBO ₅	Mayor del 90%	Mayor del 90%
Producción y manejo de lodos	Anual	Diario
Tratamiento posterior para estabilizar los lodos	No	Si
Presencia personal especializado	No	Si
Incluyen equipos electromecánicos para el tratamiento	No	Si
Costo por m ³	< Q 8,40 (1 €)/ m ³	> Q 16,80 (2 €)/ m ³

Fuente: elaboración propia.

3.5. Propuesta de implementación de planta de tratamiento

El tipo de tratamiento por utilizar depende de las características del agua cruda, caudal a tratar, disposición de servicios de infraestructura, capacidad económica, disponibilidad de personal para laborar en la planta y disponibilidad de terreno para ubicar la planta.

Para elaborar la propuesta de implementación de PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán, se consideraron los siguientes aspectos:

- Situación actual de la red de drenaje de aguas residuales. Fijación de los puntos de muestro.

- Determinar la carga contaminante de las aguas residuales que genera el Hospital.
- Resultados de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos realizados.
- Comparar los parámetros físico químico y bacteriológico de las aguas residuales con los límites permisibles para la descarga de las mismas a un colector de aguas municipales (Reglamento de las descargas y reúsos de aguas residuales y de la disposición de lodos).
- Con las características de las aguas residuales del hospital, 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.
- Establecer las condiciones generales del sistema de tratamiento propuesto.

Se establecieron las condiciones generales del sistema de tratamiento por construir, considerando las siguientes como premisas básicas en la integración de los procesos del tren de tratamiento:

- Tratamiento fisicoquímico y biológico combinados.
- Utilización de tecnologías plenamente comprobadas para alcanzar el grado de tratamiento establecido por la normatividad vigente, para reutilización del agua tratada.
- Generación mínima de olores, con métodos de manejo y control.

- Generación mínima de lodos de exceso proponiendo el equipamiento para su estabilización, deshidratación y disposición.
- Generación mínima de ruidos por la motorización del equipamiento propuesto.
- Sistema de desinfección final que garantice la destrucción remanente de microorganismos patógenos en el agua tratada y la red de distribución a puntos de reúso.

El sistema propuesto (reactor RAFA), ofrece una eficiencia aceptable, buena estabilidad, operación sencilla y costos de construcción/mantenimiento económicos.

3.5.1. Renglones de trabajo

El método de integración por renglones, es un muy confiable para la integración del presupuesto de la PTAR; consiste en desglosar en renglones de trabajo la ejecución de la construcción y aplicarle un precio unitario

Los renglones de trabajo de la propuesta de la PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán son pequeños presupuestos separados dentro del presupuesto principal y deben ser clasificados. La mayoría de subcontratos suelen ser renglones; sin embargo, puede haber subcontratos que no incluyan materiales ni otros gastos, sino solo mano de obra.

El conjunto de actividades que involucra la obra de construcción de una PTAR y que forma parte de los costos de inversión de la misma, se divide en cuatro partes principales:

- Actividades preliminares: trazo, nivelación y chapeo del terreno, otras.
- Cimentación: excavación, rellenos, acarreos fuera de obra, otros.
- Estructura: concreto, juntas, acero, formaleteado y desformaleteado, otras.
- Instalaciones: tuberías, ductos y accesorios, entre otras.

Para integrar cada uno de estos renglones se tomaron en cuenta los materiales, la mano de obra y el equipo que interviene en la ejecución del proyecto.

Tabla XV. **Renglones de trabajo PTAR Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán**

Renglones de trabajo	Unidad
Trabajos preliminares	m ³
Construcciones de piedra	m ³
Tuberías	M
Canal de rejas	Unidad
Trampa de grasas	Unidad
Reactor anaerobio de flujo ascendente	Unidad
Cajas de unión	Unidad
Patio de secado de lodos	m ²
Cerca perimetral	M
Limpieza final	m ²

Fuente: elaboración propia

3.5.2. Propuesta de diseño

Para la siguiente propuesta de diseño y especificaciones técnicas se utilizó como referencia la Norma de diseño de la red de servicios de salud, elaborado por el Departamento de Proyectos del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, así como diseños y catálogos de especificaciones técnicas de proyectos con características y magnitudes similares a la propuesta a implementar, con el objetivo de cumplir con los estándares establecidos para construcciones del Ministerio de Salud Pública.

En el diseño de PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán, se tomaron en cuenta consideraciones ambientales, de diseño, criterios técnicos, factores de ingeniería y consideraciones socioeconómicas y financieras, entre otros. A nivel internacional la mayoría de países han desarrollado normativas relacionadas con el tema del tratamiento de las aguas residuales. Las PTAR son diseñadas para ejecutar procesos similares, sedimentación, filtración, almacenamiento.

Convencionalmente estructuras de concreto reforzado han sido usadas extensivamente en proyectos de ingeniería sanitaria. El diseño de estas estructuras requiere atención no solo de los requerimientos de resistencia, sino que también de buen desempeño.

- Cargas: las cargas vivas utilizadas en el diseño estructural de varios elementos, usualmente se determinan por consideraciones racionales del tipo de estructura por utilizar, debido a que el peso específico varía de una operación unitaria a otra, (el peso específico del lodo puede variar de 1 040 kg/m³ a 1 200 kg/m³).

- Las cargas muertas: se determinan por el conocimiento de las densidades de los materiales estructurales. En otros materiales como pared de block, lámina de PVC, acero inoxidable, fibra de vidrio, entre otros, pueden ser incluidas en fichas técnicas o catálogos del fabricante.
- Refuerzo mínimo: la cantidad, tamaño y espaciamiento de las varillas de refuerzo deberá satisfacer las condiciones de resistencia y servicio, incluyendo consideraciones de los efectos de contracción por fraguado y cambios de temperatura.
- Calidad del concreto: la calidad del concreto está en función de su capacidad de retener el agua bajo presiones hidrostáticas altas y tener un estricto control de grietas.

Una mínima permeabilidad del concreto se obtiene usando relaciones agua/cemento tan bajas como la consistencia, con adecuada trabajabilidad y buena compactación. Las propiedades del concreto del concreto endurecido en las obras hidráulicas son las siguientes:

- Alta densidad y permeabilidad, para minimizar la contaminación de las aguas residuales al ambiente.
- Alta resistencia a los procesos químicos y biológicos dentro del tanque.
- Superficie suave para minimizar la resistencia al fluido.
- No debe sufrir cambios dimensionales significantes bajo las condiciones de servicio.

Unidades que integran la propuesta para la PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán (ver planos en Anexo No. 2):

- Canal de ingreso
- Sistema de rejas
- Trampa de grasas
- Sedimentador (dos canales) 14,0 x 0,75 metros c/u
- RAFA
- Patio secado y manejo de lodos

3.5.3. Especificaciones técnicas para la planta de tratamiento

Las especificaciones técnicas para la construcción de la PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán buscan normalizar los procesos constructivos para apegarlos lo más posible a las mejores técnicas y practicas existentes. Esto redundará en una mejor calidad, en definir claramente lo que se debe ejecutar y la forma en que debe realizarse. Se evitará contradicciones entre el diseño y la construcción, y se reducirá al mínimo las situaciones que requieran de la toma de decisiones subjetivas.

- Trabajos preliminares: incluyen las labores que normalmente deben realizarse antes de iniciar la construcción de cualquier estructura o elemento del proyecto.
 - Delimitación de la zona de trabajo
 - Tala de árboles
 - Limpia, chapeo y destronque

- Demolición de estructuras existentes en el área de trabajo.
- Excavación: se refiere al conjunto de operaciones necesarias para excavar, rellenar, conformar, nivelar y compactar las zonas donde se construirán las diferentes estructuras, tuberías, cunetas, aceras, entre otras; así como el transporte de los materiales excavados a su lugar de empleo o al banco de desperdicios o botadero autorizado.
 - Las labores de corte, como relleno compactado o terraplaneado, deberán llevarse hasta los niveles indicados en planos.
 - Todo el material sobrante de las actividades de corte o relleno, deberá ser adecuadamente transportado y dispuesto en un sitio apropiado.
 - Excavación para tubería: la zanja deberá cortarse simétricamente de acuerdo al eje y cotas establecidas. Tendrá un ancho acorde al diámetro de la tubería y a la profundidad requerida para su instalación, la cual dependerá a su vez de la pendiente indicada en los planos y del recubrimiento mínimo especificado.
- Tubería: comprende la preparación e instalación de todas las tuberías que formen parte del proyecto, por lo que incluye los sistemas de llegada de aguas residuales a la PTAR, tuberías de recirculación de lodos, tuberías de aguas tratadas hasta el cuerpo receptor, sistema potable de casetas y otros. Se deben respetar las ubicaciones, pendientes, diámetros, tipos y todo lo referente a las tuberías que se indican en los planos.

- Instalación de las tuberías: para los diferentes tipos de tuberías por instalar en el proyecto, deberán seguirse estrictamente las instrucciones del fabricante en lo que se refiere a su manipulación, colocación, unión, corte, entre otros.
- En el caso de las tuberías que trabajen por gravedad, su instalación deberá iniciarse por el extremo más bajo de la línea.
- En la instalación de tuberías paralelas, la línea central de cada una deberá ser paralela a la de las demás, y salvo que los planos indiquen otra cosa la distancia libre mínima entre dos tuberías deberá ser igual a medio diámetro de la tubería mayor, pero nunca inferior a 60 centímetros.
- Todas las tuberías que queden expuestas deberán alinearse de manera que sean agradables a la vista. Deberán quedar perfectamente rectas, niveladas y a plomo, salvo que por cuestión de niveles u otra razón en planos explícitamente se indique de otra manera.
- Pruebas: todas las líneas de tubería que sean instaladas en el proyecto deberán ser revisadas y probadas. Los diferentes sistemas de tuberías se probarán a la presión y por el tiempo indicado en la tabla de presiones y tiempos de prueba.
- Los sistemas que funcionen por gravedad deberán ser probados vertiendo agua en los puntos elevados para confirmar que corre adecuadamente por todos los tramos de la tubería.

Para que una prueba sea aceptable, la tubería deberá mantener la presión especificada en la tabla anterior por el tiempo indicado, luego del cual la pérdida de presión no podrá ser superior al 2%.

Tabla XVI. **Pruebas de presión y tiempo para tuberías**

Tipo	Presión (Kg/cm²)	Tiempo horas
Agua potable	10,00	2
Agua servida	5,00	1
Ventilación	5,00	1
Aguas pluviales	5,00	1

Fuente: elaboración propia.

- Todas las tuberías alineadas horizontal o verticalmente que queden expuestas deberán soportarse debidamente. Los soportes serán construidos de acero, y su diseño deberá ser tal que mantenga los elementos en posición pero que permita las dilataciones y movimientos. También podrán utilizarse soportes de otros materiales, como PVC, siempre y cuando sean de marcas y tipos reconocidos.

El espaciamiento máximo entre soportes será el recomendado por el *USA National Plumbing Code* (Código Nacional de Fontanería de Estados Unidos), el fabricante o el de la tabla que se presenta a continuación; será elegido el menor.

Tabla XVII. **Espaciamiento máximo entre soportes de tuberías**

Diámetro del tubo (milímetros)	Espaciamiento máximo en metros			Diámetro de la barra del soporte en milímetros		
	Cobre	PVC	Acero	Cobre	PVC	Acero
Hasta 24	1,5	1,2	2,1	9,5	9,5	9,5
Hasta 32	2,5	1,30	2,5	9,5	9,5	9,5
Hasta 38	2,5	1,5	3,0	9,5	9,5	9,5
Hasta 50	2,75	1,5	3,0	13,0	9,5	9,5
Hasta 63	2,75	1,7	3,5	13,0	9,5	13,0
Hasta 75	3,0	1,85	3,5	13,0	13,0	13,0
Hasta 100	3,0	2,2	3,25	13,0	13,0	13,0
Hasta 150	3,0	2,5	2,6	13,0	13,0	13,0

Fuente: elaboración propia.

- Pintado de las tuberías: todas las tuberías que queden expuestas o que así sean indicadas en los planos deberán pintarse. Luego de la limpieza a las tuberías de acero dúctil o galvanizado se les aplicará pintura anticorrosiva y dos manos de pintura para maquinaria.

A las tuberías de PVC se les eliminará con lija el brillo superficial, luego de lo cual se le aplicarán dos capas de pintura base adecuada para este fin y dos capas de esmalte. Todas las pinturas y bases por utilizar deberán ser de marca y calidad reconocidas.

Los colores finales que deberán tener las tuberías serán los indicados en los planos, que cumplan con la norma de colores especificados para los diferentes sistemas existentes en el proyecto.

- Concreto: consiste en una mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aditivos, cuando así se requiera, y agua, mezclados en las proporciones establecidas en el diseño de mezcla adecuado para cada clase de concreto especificado.

Este podrá ser premezclado en planta o elaborado en sitio; todas las resistencias a la comprensión del concreto que se mencionan se refieren a la alcanzada por el mismo a los 28 días de realizada la mezcla.

- Diseño de la mezclas: se deben elaborar por escrito los diseños de mezcla para su aprobación, al menos una semana antes de iniciar la producción; los que deberán haber sido realizados por un laboratorio reconocido y verificado, siguiendo los procedimientos establecido en las especificaciones ACI (*American Concrete Institute*) 211, *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete* (Prácticas normalizadas para la selección de proporciones para concretos normales, pesados y masivos). En dichos diseños deberá constar el gráfico de tiempo y se indicará al menos las resistencias a los 7, 14 y 28 días.
- Resistencia: el concreto que se utilice en las diversas estructuras que conformaran el proyecto deberá cumplir con las especificaciones de resistencia a la comprensión, de acuerdo

con lo indicado en los planos. En todo caso, si no estuviesen allí definidos, se aplicarán los siguientes criterios:

- Sellos de fundaciones 110 kg/cm^2
 - Elementos no preesforzados 240 kg/cm^2
 - Elementos preesforzados 350 kg/cm^2
 - Contrapisos, aceras o banquetas 175 kg/cm^2
 - Concreto para concreto ciclópeo 175 kg/cm^2
 - Relleno de bloques de mampostería 210 kg/cm^2
 - Losas de piso o superiores 240 kg/cm^2
 - Muros estructurales 240 kg/cm^2
- Cemento: el cemento por utilizar, salvo que explícitamente en planos se indique otra cosa, será cemento Portland tipo 1, que cumpla con la especificaciones ASTM C-150, o cemento Portland tipo 1 MP que cumpla con la especificación ASTM C-595, según su última revisión.

Deberá almacenarse de manera que se garantice que el cemento no tendrá problemas de humedad, sobre tarimas de madera, en estibas no mayores de 10 sacos.

- Agua: el agua que se utilice en la mezcla de concreto, curado y otras aplicaciones relacionadas, deberá estar razonablemente limpia, exenta de aceites, sales, ácidos, álcalis, azúcar, materia orgánica o cualquier otra sustancia perjudicial para el concreto o para el acero de refuerzo.

El agua reconocida como potable podrá utilizarse sin análisis previo; en caso contrario deberá ser analizada de acuerdo con la prueba AASHTO-T-26 última revisión y deberá satisfacer los requisitos ahí señalados.

- Agregados gruesos: deben ser producidos a partir de piedra triturada sana, grava triturada u otros materiales inertes duros y durables, de características similares o una combinación de ellos, que cumplan con los requisitos aquí estipulados.

El tamaño máximo del agregado será de 40 milímetros para placas, vigas de fundición y estructuras masivas, y de 25 milímetros para los demás elementos estructurales respetando los criterios ACI para tamaño máximo de agregado, dados los recubrimientos y separación del acero y refuerzo especificados.

El agregado debe cumplir con las normas AASHTO T-112, AASHTO T-11, ASTM D.4791, AASHTO-T-96.

La graduación del agregado grueso será determinada según lo indicado en la norma ASTM C-135, *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Course Agregades* (Método de prueba normalizada para análisis granulométrico de agregados finos y gruesos).

- Agregado fino: consiste en arena natural, industrial o fabricada; es decir, producto de la trituración. Estará compuesto por partículas duras y durables o una combinación de estas, que cumpla con los requisitos aquí estipulados.

El agregado debe cumplir con las normas AASHTO-T-112, deberá estar libre de impurezas orgánicas. La graduación del agregado fino será determinada mediante el método ASTM C-136.

Todos los agregados, tanto gruesos como finos, deberán ser clasificados según su tamaño. Se apilarán en forma ordenada y separados según su granulometría, para evitar que se mezclen. Además, deberán ser almacenados y manipulados de manera tal que no se produzca segregación, contaminación o cualquier otro efecto perjudicial para la futura mezcla de concreto.

En caso de que los acopios de material se dispongan directamente sobre el terreno natural, deberá evitarse el uso de los 15 centímetros inferiores, para evitar la contaminación de estos con el suelo natural.

Para garantizar una adecuada mezcla de concreto, los agregados deberán tener una condición de humedad aceptable uniforme antes de la dosificación.

- Aditivos: puede ser necesario el uso de acelerantes de fraguado del concreto para un rápido retiro de las formaletas, productos retenedores de agua para ayudar al adecuado curado del concreto y desencofrantes.

Los aditivos reductores de agua, retardantes, acelerantes, deberán cumplir con la norma ASTM 494, Especificación para aditivos químicos para concreto (*Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*); además las Especificaciones normalizadas para aditivos químicos para concreto ACI 212 3R *Chemical Admixtures for Concrete* y ACI 212 4R *Guide for the Use of High Range Water Reducing Admixtures in Concrete* (superplastificantes), según sus últimas revisiones.

- Mezclado en sitio: el concreto mezclado en el lugar del proyecto, se deberá dosificarse adecuadamente y apegarse fielmente a la dosificación definida en los diseños de mezcla aprobados, para garantizar la uniformidad, densidad y resistencia del mismo.

Las mezcladoras y el equipo para el transporte, colocación y densificación del concreto deben estar en perfectas condiciones de operación y mantenimiento, para evitar interrupciones durante el proceso de colado.

La dosificación del concreto deberá hacerse preferiblemente por peso. El proporcionamiento por volumen deberá ajustarse a unidades de saco de cemento completo.

Todo el concreto con resistencia de 280 kg/cm² o más, el premezclado y el elaborado en plantas, deberá dosificarse por peso. En la medición de los agregados, en su mezclado y en la colocación del concreto mezclado en sitio, deberá seguirse lo estipulado en la norma ACI-304, *Guide for Measuring, Mixing,*

Transporting and Placing Concrete (Guía para la medición, mezclado, transporte y colocación de concreto).

No se permitirá el mezclado a mano del concreto, salvo en casos muy especiales de elementos secundarios. El concreto deberá ser bien mezclado en una mezcladora de tipo aprobado. Todos los materiales para cada batchada de concreto deberán ser mezclados durante no menos de 90 segundos después de que los materiales estén dentro del tambor de la mezcladora.

Durante el mezclado el tambor gira a no menos de 14 ni a más de 22 revoluciones por minuto. Todo el contenido deberá ser removido del tambor antes de que se coloquen los materiales para la siguiente carga. En ningún caso se permitirá el remezclado de concreto que haya fraguado parcialmente, aunque se agreguen cantidades adicionales de cemento, agregados, aditivos y agua.

- Concreto premezclado: deberá cumplir con la especificación ASTM C-94, *Standard Specification for Ready-Mixed Concrete* (Inspección de la planta de mezcla y pruebas de campo de concreto premezclado). No se podrá añadir agua al concreto dentro del camión mezclador.

Todas las cargas de concreto que se utilicen en el proyecto, deberán indicar, de manera clara y fidedigna, la hora en que este fue preparado, y no se permitirá la utilización en la obra de concreto que tenga más de dos horas de haber sido mezclado, luego de añadida el agua.

El concreto rechazado deberá ser retirado y adecuadamente dispuesto fuera de la obra; además, deberá ser reemplazado. Las labores de limpieza de camiones mezcladores, bombas y demás equipos, así como la disposición de concreto sobrante o desechado, deberán realizarse en sitios adecuados y sin provocar ninguna molestia al proyecto ni a los vecinos y propiedades aledañas.

- Control de calidad para el concreto: es necesario mantener un estricto control de calidad del concreto que se utilice en el proyecto; deben realizarse de acuerdo a un programa establecido. Las pruebas de revenimiento y resistencia de las mezclas que se elaboren, deberán ser realizadas por un laboratorio reconocido.

El revenimiento será obtenido mediante la prueba ASTM C-143, *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete* (Método normalizado para prueba de revenimiento de concreto de cemento hidráulico). Salvo que explícitamente en los planos o en algún documento aclaratorio se indique lo contrario, el revenimiento máximo que se aceptará, antes de la adición de cualquier aditivo, será de 10 centímetros (4").

La resistencia a la compresión del concreto se determinará según la especificación ASTM C-39, *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens* (Método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto), en cilindros de prueba de 15 x 30 centímetros.

La toma de muestras de concreto fresco será de acuerdo a lo indicado en las especificaciones ASTM C-31, *Standard Practice for Marking and Curing Concrete Test Specimens in the Field* (Práctica normalizada para la preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra). La toma de las muestras, la preparación de los cilindros y su manejo (curado, transporte, otros), serán de acuerdo lo establecido.

En el libro de bitácora deberá anotarse la fecha de las fundiciones, los elementos estructurales que están colando, número y designación de los cilindros y los valores de revenimiento obtenidos, así como cualquier observación pertinente. Las edades de ensayo serán a los 7, 14 y 28 días como mínimo; de cada fundición deberá guardarse un cilindro como testigo.

- Tolerancias y sanciones: en caso de que los resultado de las pruebas de resistencia a la compresión del concreto indiquen valores menores a la especificada, considerando una tolerancia máxima de 8% inferior a lo especificado, en un 10% o más de las pruebas, se deberá demoler y construir las partes de la obra y los elementos que hayan sido afectados por el incumplimiento de la resistencia especificada.
- Acero de refuerzo: se debe proveer todos los materiales, herramientas, equipo, accesorios y mano de obra para procesar e instalar todo el acero de refuerzo indicado en planos. De acuerdo con estas especificaciones y las recomendaciones del ACI-345, *Details and Detailing of Concrete Reinforcement* (Detalles y detallado del reforzamiento del concreto), de ACI-318, *Building Code Requirements for Structural Concrete Reinforcing Steel Institute* (Instituto del acero para concreto reforzado).

Todo el acero de refuerzo que se utilice en el proyecto será de primera calidad y nuevo.

Al recibirse en el sitio de obra será clasificado según su diámetro, longitud, grado y uso final, y deberá ser almacenado sobre tarimas adecuadas, libres de humedad y protegidas de la intemperie. Deberá mantenerse aceptablemente limpio y libre de escamas, oxidación avanzada, grasa e impurezas que puedan afectar su resistencia, sus propiedades físicas, y su adherencia con el concreto.

Todo el material sobrante, resultante de la preparación del acero de refuerzo, deberá ser apropiadamente recogido y eliminado del proyecto.

- Materiales: todo el acero a que se usará para el refuerzo del concreto consistirá, según se indique en planos, en barras de acero Grado 40, con un límite de fluencia mínimo de 2 800 kg/cm², especificación ASTM A 615, *Estándar Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement* (Especificación normalizada para barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto), última revisión; o Grado 60, con un límite de fluencia mínimo de 4 200 kg/cm², especificación ASTM A 706, *Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement* (Especificación normalizada para barras de acero de baja aleación lisas y corrugadas para refuerzo de concreto), última revisión. Las deformaciones ASTM designación A 35, última revisión.

La malla de alambre de acero electrosoldado deberá cumplir con la norma ASTM A-185, *Standard Specification for Steel Welded Wire Reinforcement, Plain, for Concrete* (Especificación normalizada para refuerzo electro soldado de alambre de acero, liso, para concreto), y deberán tener un límite de fluencia mínimo de 4 200 kg/cm².

El alambre liso se empleará para amarrar las barras de refuerzo; deberá ser, mínimo, calibre No. 16, de cualquier grado, con una maleabilidad alta que facilite su doblado y trenzado. Deberá cumplir con la Norma AASTO M-32, *Standard Specification for Steel Wire, Plain, for Concrete Reinforcement* (Especificación normalizada para alambre de acero liso para concreto reforzado).

Se podrá realizar pruebas a las barras de acero de refuerzo de acuerdo a lo establecido; su capacidad debe ser suficiente para las cargas a las que serán sometidos estos elementos.

- Corte y doblado: las barras de acero de refuerzo y las mallas deberán cortarse preferiblemente con guillotina o disco, también se aceptará el corte con segueta. No se permitirá el corte por calentamiento, ya sea por arco eléctrico o por gas, salvo en secciones donde el corte se encuentre a más de 30 cm del inicio o del final de un doblado. Los cortes deberán quedar limpios, ortogonales al eje de la barra y sin rebordes. Las barras se doblarán hasta alcanzar las formas indicadas en los planos.

Todo el doblado deberá ejecutarse en frío, bajo ningún concepto se aceptará el calentamiento de las barras para darles la forma requerida.

Para los aros de confinamiento, el diámetro interno mínimo de doblado será de veces el diámetro nominal de la barra que forma el estribo. El diámetro interno mínimo de doblado para las mallas electro soldadas será de 4 veces de diámetro nominal del alambre que la forma, pero este deberá hacerse a más de 5 cm de distancia de la línea de puntos de soldadura más cercana.

Cuando en los planos se indique la longitud de una pata, dicha longitud se tomara desde la cara exterior de la porción larga de la barra hasta el extremo de la pata. Los aros de confinamiento deberán llevar patas a 135 grados, mínimo de 7,5 cm de largo o de 6 diámetros de la barra utilizada para el aro, la longitud mayor, medida sobre la porción recta del doblado.

- Empalmes: donde sea necesario hacer empalmes se harán preferentemente en los puntos de inflexión de los elementos o en las secciones en donde los esfuerzos sean menores. Los empalmes se deben alternar de tal forma que no exista más de la mitad de las varillas empalmadas en una mínima de 40 diámetros. Cuando el empalme se efectuó por traslape de las barreras, este deberá tener una longitud mínima de 30 diámetros si las barras terminan en gancho, o de 40, si los diámetros si no terminan en gancho.

No se aceptarán empalmes doblando las varillas en forma de “cuello de botella”. Los empalmes se deben sujetar firmemente con ataduras de alambre liso calibre No. 16. El recubrimiento de concreto sobre los empalmes deberá cumplir con lo establecido en el apartado “Recubrimientos” de estas especificaciones de refuerzo.

Antes del inicio de la instalación del acero de refuerzo, se debe contar con un detalle de los sitios y tipos de empalme por utilizar en la obra. Se podrán utilizar acoples de tipo mecánico en vez de traslapes siempre y cuando se apruebe su uso.

En barras de diámetro No. 11 o mayores, deberán utilizarse acoples mecánicos en vez de traslapes, que deberán cumplir con todo indicado anteriormente.

- Colocación: el acero de refuerzo deberá colocarse muy cuidadosamente, respetando todo lo indicado en planos como diámetro, tipo, distribución, ubicación, recubrimiento, dimensionamiento, entre otros. Las barras de acero de refuerzo deberán ser sujetadas firmemente, de manera que no sean remplazadas durante la colocación del resto del acero, o durante otras actividades de la obra, tales como la colocación del encofrado y el colado y vibrado del concreto.

El recubrimiento especificado entre el acero de refuerzo y el encofrado será asegurado mediante separadores de mortero de forma cilíndrica o cúbica. Al ser colocado en su posición final y antes de colocar el concreto, todo el acero de refuerzo deberá

estar libre de polvo, escamas, rebabas, pintura, aceite o cualquier otro material extraño que pueda afectar su adherencia.

Todo el mortero seco, restos de coladas anteriores, lechada, otros, deberán ser removidos del acero de refuerzo mediante algún método adecuado, tal como chorro de arena o cepillo de cerdas de acero.

La colocación de las barras de acero de refuerzo deberá realizarse de acuerdo con lo indicado en planos, asegurándose firmemente, de manera que no sufra desplazamientos durante el vertido y fraguado del concreto. La posición del refuerzo dentro del encofrado deberá ser mantenida por medio de tirantes, bloques, canastas de metal, espaciadoras o cualquier otro soporte aprobado.

En los casos en los que haya que cortar barras de acero de refuerzo en muros o losas debido a aberturas para tuberías, registros, ventanas, otros, se sustituirán las barras eliminadas por su cantidad equivalente de acero de refuerzo alrededor de la abertura.

Además se colocarán dos barras de acero No. 5 en diagonal, de 1 metro de largo como mínimo, en cada una de las esquinas, a menos de que se indique otra cosa. Las barras deberán amarrarse con alambre en todas las intersecciones, excepto en el caso de mallas con espaciamientos entre barras menores de 30 centímetros, con cuyo caso se permitirá que se amarren

alternativamente. No se permitirá soldar las intersecciones de las barras de refuerzo.

Se debe tener especial cuidado antes de colocar la losa, de que los recubrimientos del acero, tanto inferior como superior, están de acuerdo a lo especificado, y de que estos se mantendrán aun después de las labores de colocado, durante las cuales es normal que el personal camine sobre dicho acero.

- Recubrimientos: los recubrimientos mínimos del acero de refuerzo, salvo que en planos o en algún documento aclaratorio explícitamente se indique otra cosa, deberán cumplir con la siguiente tabla.

Tabla XVIII. **Recubrimientos mínimos para acero de refuerzo**

Elemento	Recubrimiento centímetros
Concreto colado directamente contra el suelo, vertical u horizontal	7,5
Concreto colado contra sello de fondo	4,0
Aros en vigas para mampostería y otras vigas de 12cm de espesor o menos	2,0

Continuación de la tabla XVIII

Aros en vigas de 15 cm de espesor o menos	2,5
Aros en vigas principales	4,0
Aros en columnas	4,0
Cualquier superficie expuesta al agua de tanques	4,0
Muros de retención	4,0
Muros y losas	3,0

Fuente: elaboración propia.

Se deberá tener especial cuidado en la colocación del acero de refuerzo en los nudos, ya que aquí también deberán respetarse los parámetros establecidos de recubrimiento mínimos.

- Tolerancias: se deben cortar, doblar y colocar las barras y mallas de refuerzo de acuerdo con las siguientes tolerancias: longitud de barras rectas: hasta $\pm 2,5$ cm en longitud.

Longitud de barras con patas: para el lado corto o pata, hasta 1 centímetro de menos o 2 cm de más, medido desde la cata exterior de la porción recta larga

Dimensiones de aros de confinamiento: en dimensiones de menos de 50 cm, hasta 0,5 cm de más o de menos, pero con los lados paralelos sin definir en más de 0,5 cm.

En dimensiones de más de 50 cm, hasta 1,0 cm menos, 0,5 cm de más, pero con los lados paralelos sin definir en más de 0,5 cm.

Diámetro interno de doblado de barras: reducción de más del 10% de lo especificado y ampliación de no más del 25% de lo especificado.

Ubicación vertical de las barras: en losas se aceptará hasta $\pm 0,5$ centímetros; en los demás casos hasta $\pm 1,5$ % cm referidas al fondo del encofrado o al nivel superior final de la losa.

Ubicación longitudinal: hasta $\pm 2,5$ centímetros.

Ubicación transversal: hasta $\pm 1,5$ cm, pero manteniendo las separaciones entre carillas con una diferencia máxima de 0,5 cm de lo indicado en planos.

Separación de barras uniforme espaciadas: hasta $\pm 2,0$ cm, pero sin que el número total de barras indicado en planos disminuya.

Separación de aros de confinamiento: hasta $\pm 1,0$ centímetros, pero el número total de aros no podrá disminuirse.

Espesores de recubrimiento: hasta 0,5 cm de recubrimientos menores o iguales a 5,0 cm; hasta 1,0 cm en recubrimientos mayores a 5,0 centímetros. Las tolerancias de los espesores de recubrimiento rigen sobre las demás, es decir, podrán aceptarse las tolerancias estipuladas para longitudes, dimensiones,

ubicaciones, otros, siempre y cuando se cumplan las especificaciones estipuladas para recubrimientos.

Tipos de acero: no se aceptarán cambios en el tipo de acero especificado en planos, a menos de que el cambio sea sustentado por un análisis formal, que demuestre que la capacidad estructural del elemento con el cambio de acero propuesto, es igual o superior al original.

Área de acero de refuerzo: no se aceptará la colocación de acero de refuerzo con áreas menores a las estipuladas en planos. Toda variación en calidad o instalación que exceda las tolerancias especificadas, deberá ser corregida de inmediato y antes de proceder con cualquier otra actividad.

- Inspección y aprobación: antes del colado del concreto, o el cierre de los encofrados según corresponda, se deberá revisar lo que se refiere a limpieza, distribución, colocación y sujeción del acero de refuerzo.
- Encofrados: se debe proveer el diseño y todos los materiales, mano de obra, equipo, entre otros, necesarios para la elaboración de la obra falsa y el encofrado requeridos, para la construcción de todos los elementos y estructuras de concreto mostrados en planos y que conforman el proyecto.

Debe realizarse la selección de los materiales que deberán satisfacer todos los requisitos necesarios para confinar y soportar apropiadamente la mezcla de concreto. El encofrado y la obra falsa deberán tener la

calidad y resistencia necesarias para que los elementos de concreto que se construyan cumplan con todo lo especificado en planos en lo referente a dimensiones, líneas, ángulos, niveles, acabados, otros.

Los encofrados y la obra falsa deberán diseñarse y construirse de manera tal que permitan realizar adecuadamente las operaciones de colocación y densificación del concreto. Se deberá aplicar en el diseño y construcción de la obra falsa y el encofrado lo estipulado en el código ACI -347, *Guide to Formwork for Concrete* (Guía de encofrado para concreto) última versión.

- Materiales: los materiales por utilizar en los encofrados podrán ser madera, madera contrachapada, metal, plástico o cualquiera otro, que cumpla adecuadamente con los requisitos necesarios para elaborar un sistema de encofrado de primera calidad que garantice un exitoso colado del concreto. Todos los materiales deberán ser nuevos o estar en perfectas condiciones para su uso.

- Madera: la superficie de toda la madera que se utilizará, ya sean tablas, tablones, molduras u otros, que entre en contacto con el concreto deberá ser lisa. En el caso de superficies de concreto, expuesta, no se permitirá el empleo de madera que produzca manchas en el concreto y la que utilice deberá ser lijada a menos de que se use madera contrachapada.

La madera que se utilice para postes, vigas u otros elementos soportantes deberá estar libre de nudos y grietas.

- Madera contrachapada: deberá ser de tipo normal de primera calidad. En caso de que se use como revestimiento para encofrados de tabla o tablón su espesor podrá ser de 4 milímetros, en las demás aplicaciones deberá utilizarse un espesor mínimo de 12 milímetros.
- o Lámina de acero galvanizada: si se emplea como revestimiento para encofrados de tabla o tablón, deberá ser al menos calibre No.18. El espesor de las láminas por utilizar en encofrados metálicos sin respaldo de madera, deberá aumentarse de acuerdo con el diseño.

Las uniones entre láminas de un mismo panel o molde deberán ser soldadas a tope y esmeriladas, dejando una superficie lisa y hermética de manera que no escape la lechada de cemento. Todas las superficies de acero en contacto con el concreto deberán estar limpias y libres de herrumbre o pintura antes de realizar la colada.

- o Plástico: el recubrimiento plástico para los encofrados podrá ser de ABS (acrilotributadienestireno), PVC (cloruro de polivinilo) o fibra de vidrio con espesor mínimo de 1,6 milímetros y con una dureza superficial mínimo de 50, de acuerdo con la norma ASTM D-785, *Standard Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials* (Método de prueba normalizado para la dureza Rockwell de plásticos y materiales aislantes eléctricos). Todas las uniones serán a tope, cementadas con pegamento apropiado.

- Metal: podrá utilizarse tubo circular de hierro galvanizado, tubo industrial, canales de chapa delgada doblada en frío, perfiles doblados en caliente, puntales metálicos patentados, entre otros. Podrán utilizarse encofrados y sistemas de marcas reconocidas, siempre apagándose a las especificaciones y recomendaciones del fabricante.

Se podrá utilizar otro tipo de encofrado, diferente a los descritos en estas especificaciones, siempre y cuando se presente un detalle formal y completo del sistema propuesto y sea aprobado.

- Construcción: los encofrados y la obra falsa deberán construirse apropiadamente resistentes y estables, debidamente arriostrados unidos entre sí mediante tirantes especiales u otros sistemas apropiados y aprobados, y suficientemente herméticos para evitar la filtración de la lechada de cemento.

Además deberán ser suficientemente fuertes para resistir la presión del concreto fresco y los esfuerzos provocados tanto por cargas muertas como vivas, durante la colada del concreto.

El encofrado deberá ser construido de tal forma que pueda ser removido sin que ocasione daños al concreto ya colado, ya sea de la última colada o de anteriores coladas. Todos los agujeros resultantes del retiro de los tensores deberán rellenarse inmediatamente después de retirarse los encofrados con mortero sin contracción o algún otro material adecuado.

El mortero utilizado tendrá una resistencia igual o mayor a la del concreto en que se aplique y con acabado similar tanto en textura como en color.

Se deberá garantizar la impermeabilidad de dicho relleno para evitar la filtración de agua a través de los tensores.

Todas las superficies de los paneles o tableros del encofrado que vayan a estar en contacto con el concreto antes de su colocación deberán ser tratados con algún agente desmoldante aprobado. Los productos por utilizar deberán ser de marca y calidad reconocida, y no producir manchas ni ningún otro efecto no deseable en el concreto ni en su apariencia.

Todo el encofrado de elementos verticales como columnas y muros, deberá tener registros o ventanas de inspección y limpieza que faciliten la remoción de basuras y escombros, así como el colado del concreto. Deberá hacerse, al menos, un registro de 150 por 75 milímetros en la base de cada columna y un registro en cada extremo y a cada 3 metros de espacio máximo en vigas, muros y otros elementos lineales.

Los encofrados de cualquier material utilizados en el colado en serie de elementos prefabricados deberán ser verificados antes de cada uso, tanto en lo referente a sus dimensiones, como en el estado de sus superficies y de su estructura.

La estanqueidad de los encofrados deberá ser revisada antes de iniciar la colada del concreto; además, se deberán limpiar los fondos empleando aire comprimido, agua a presión o cualquier otro método. Durante estas operaciones de limpieza se deberá tener cuidado de no mover el acero de refuerzo, los pasamuros, accesorios, tuberías, otros o los encofrados mismos.

- Tolerancia: las tolerancias referentes a los encofrados se aplicarán a las estructuras ya coladas, debido a la posibilidad de deformaciones y movimiento del encofrado durante el proceso de colado del concreto o durante el período de fragua del mismo.
- Aprobación: todos los encofrados deberán ser aprobados por el supervisor antes de cualquier colada. En caso de que se determine que los encofrados o la obra falsa están insuficientemente arriostrados o deficientemente construidos, se podrá ordenar el paro del trabajo, así sea durante la colada del concreto, hasta que tales defectos hayan sido corregidos.
- Desencofrado: la operación de remover los encofrados podrá iniciarse hasta que el concreto haya alcanzado una resistencia suficiente de manera que su seguridad estructural, rigidez y apariencia no se vea afectada. La remoción de obra falsa y puntales no podrá realizarse antes de que el concreto haya alcanzado el 80 % de la resistencia especificada, y no antes de 10 días después de haberse efectuado el colado.

En la siguiente tabla se detallan los tiempos mínimos así como también el porcentaje mínimo de la resistencia especificada que el concreto debe haber alcanzado antes de iniciar el desencofrado de los diferentes elementos estructurales. Podrá iniciarse al desencofrado en el momento en que alguno de dichos parámetros se cumpla.

Tabla XIX. **Tiempos y porcentaje de resistencia mínimos para desencofrado**

Elemento	% de resistencia	Tiempo mínimo (días)
Costados de vigas, muros, paredes y columnas con acabados de concreto no expuesto.	30	2
Costados de vigas, muros, paredes y columnas con acabados de concreto expuesto.	40	4
Fondos de losas con claros menores de 3,5 metros.	60	7
Fondos de losas con claros mayores de 3,5 metros.	70	12
Fondos de vigas construidas sobre o bajo mampostería.	60	7
Fondos de vigas con claros menores de 6,0 metros.	70	12
Fondos de vigas con claros mayores de 6,0 metros.	85	15
Fondos de voladizos.	85	12

Fuente: elaboración propia.

La tabla anterior no considera el uso de aditivos aceleradores de resistencia para el concreto. El concreto expuesto no deberá presentar quebraduras o fisuras ni huellas ocasionadas por el empleo de herramientas en el desencofrado.

Todos los agujeros resultantes del retiro de los tensores deberán rellenarse, inmediatamente después de retirarse los encofrados con mortero sin contracción o algún otro material adecuado.

- Fundición del concreto: la colocación del concreto, en cualquier elemento o sección de una estructura, deberá ser continua y completa. En caso de que el elemento sea colocado en varias etapas, cada una de estas deberá, igualmente, ser continua y completa entre las juntas de construcción que se hayan definido. Todas las herramientas y equipos (carretillas, baldes, palas, otros) deberán limpiarse completamente antes de cada colada o después de cada interrupción prolongada durante la operación de la misma.
 - Preparación y limpieza: todo el acero de refuerzo, los encofrados, tanto de madera como metálica, y las superficies de coladas anteriores donde se verterá concreto para una nueva colada, deberán limpiarse cuidadosamente; eliminar las impurezas, incrustaciones de mortero y cualquier otro material extraño.

Deberán quedar completamente libres de suciedad, desechos, exceso de grasa o aceites u cualquier otra sustancia perjudicial. Deberá eliminarse toda agua estancada o libre de las superficies sobre las cuales se colocará el concreto. Al iniciar la colada de concreto, los encofrados, ya impregnados con el desmoldante, deberán mantenerse húmedos rociándolos con agua limpia, con el cuidado de no eliminar el desmoldante. Deben estar colocadas y ancladas todas la mangas, pasa muros, cajas de

registro y demás accesorios que deban quedar embebidos en el concreto.

- Acarreo: se deberá contar con el equipo adecuado, en cantidad suficiente y en buen estado, para el acarreo y transporte interno del concreto, tales como carretillas, baldes, cubetas, entre otros.

El equipo debe encontrarse limpio, sin rastros de concreto endurecido y sin perforaciones o agujeros que permitan la pérdida de concreto lechado. La distancia máxima de acarreo en carretillas, desde el sitio de mezcla hasta el sitio de vaciado, será de 100 metros.

En caso de que se derrame concreto durante su mezcla o acarreo, este deberá ser recogido y adecuadamente eliminado; de ninguna manera podrá ser utilizado en ningún elemento estructural.

- Vertido: el vertido y colocado del concreto deberá realizarse de una manera cuidadosa y esmerada para lograr estructuras de concreto de primera calidad, tanto en lo que se refiere a su capacidad estructural como a su acabado. Se debe disponer del equipo y mano de obra apropiados, en cantidad y calidad, para la rápida y eficaz colocación del concreto.

El concreto se transportará inmediatamente después de mezclado y deberá depositarse lo más cerca posible de su posición final. Los medios utilizados para la colocación del concreto deberán permitir una buena regulación de la mezcla

depositada, y evitar su caída con demasiada fuerza contra el encofrado o el acero de refuerzo. Por ningún motivo se permitirá la caída libre del concreto desde alturas superiores a 1,50 metros para evitar su segregación, por lo que se deberá prever el uso de mangas, canaletas tubos u otros equipos de colocación adecuados y aprobados.

Cuando la colocación deba ser intermitente, deberá colocarse un tambor o tolva al final de la canoa. No se permitirá la adición de agua al concreto para facilitar su flujo. El concreto deberá colocarse en capas continuas y horizontales, con un espesor máximo de 0,4 metros.

No se permitirá la colocación de grandes cantidades de concreto en un solo punto para que fluya por su propio peso ni se permitirá que se le haga fluir utilizando vibradores. Se deberá prestar especial atención al llenado de los encofrados, depositando el concreto lo más cercano a su posición final, de manera tal que llene totalmente y cubra completamente el acero de refuerzo, sin desplazarlo.

Los enrasados finales de losas u otros elemento deberán realizarse utilizando enrasados o codales metálicos o de madera, lo suficientemente fuertes, duraderos e indeformables para poder lograr un acabado uniforme de la superficie del concreto.

Dichos enrasadores deberán moverse sobre guías metálicas, de madera o de concreto resistentes y debidamente sujetadas para soportar la operación sin deformarse ni perder su nivel y línea.

La superficie expuesta de las losas deberá alisarse con plancha o llana de madera o magnesio, utilizando los finos acabados propios de la mezcla. Dicho alisado tendrá que realizarse con el concreto fresco, hasta lograr un acabado uniforme. La superficie final de las losas deberá cumplir con los niveles y pendientes definidos en planos.

No se permitirá la colocación de concreto al cual se le haya adicionado agua luego de salida de la mezcladora. Tampoco se permitirá la colocación de mezcla fresca sobre concreto total o parcialmente endurecido, sin que las superficies de contacto hayan sido debidamente preparadas.

El concreto no podrá colocarse bajo la lluvia, salvo que se instalen cubiertas y sistemas para controlar las aguas pluviales que garanticen la protección del concreto durante su mezcla, acarreo, vertido y fraguado inicial, sin que este sufra ninguna alteración negativa en sus propiedades físicas y mecánicas, ni en su apariencia física final.

En el caso en que se utilice equipo para bombeo de concreto, deberán seguirse fielmente las instrucciones y recomendaciones del proveedor del equipo de bombeo. Las bombas por utilizar deberán tener capacidad suficiente para realizar el suministro de concreto de manera continua.

- Vibrado: todo el concreto que sea colocado en el proyecto deberá densificarse mediante vibración, hasta obtener la mayor densidad posible, de manera que quede homogéneo y libre de cavidades producidas por burbujas de aire.

Se deberá asignar personal suficiente y capacitado para la operación del equipo; dichos vibradores mecánicos deberán ser de tipo y diseño aprobados. El tamaño del vibrador estará basado en el tamaño de los espacios en el acero de refuerzo y los encofrados.

Durante toda la operación de colado, el vibrador deberá operarse a intervalos regulares y frecuentes, en distancias horizontales no mayores de ochenta centímetros, en posición aproximadamente vertical y con la punta o cabezal sumergido dentro del concreto.

El vibrador deberá moverse dentro de toda la masa de concreto fresco, acomodando la misma alrededor del acero de refuerzo y dentro de todos los espacios, esquinas y ángulos de los encofrados. No deberá utilizarse para trasladar la mezcla dentro del encofrado, y deberá evitarse su contacto con la formaleta y el acero de refuerzo, especialmente si ello afecta a concretos recién fraguados.

El tiempo de vibrado en cualquier punto será el necesario para obtener la densificación adecuada, pero sin que ocurra segregación de la mezcla. El concreto no podrá ser vibrado si ya han transcurrido más de 10 minutos de haber sido vertido.

Deberá tenerse el cuidado de que el vibrador no penetre o mueva las capas anteriores, que hayan endurecido parcialmente, a menos que este concreto haya sido colocado por lo menos 48 horas antes. Cualquier desplazamiento del acero de refuerzo causado por efecto del vibrado, deberá ser corregido antes de que continúe con el vertido del concreto. No podrá colocarse una nueva copa de concreto fresco si la anterior no ha sido debidamente densificada.

- Tiempos máximos de colado: no se permitirá la colocación de concreto con más de 45 minutos de haberse iniciado su mezclado. En el caso de concreto premezclado, todos los camiones deberán indicar, de manera fiel, la hora en que su carga de concreto fue mezclada, y no se permitirá la colocación de concreto con más de 2 horas de elaborado. Si la colada de concreto se interrumpiere por un periodo de tiempo de una hora o más, deberá limpiarse y lavarse el equipo utilizado.

Los desechos generados se deben disponer adecuadamente sin provocar problemas en la obra en ejecución.

- Curado del concreto: inmediatamente después finalizado el colado del concreto, deberán protegerse adecuadamente todas las superficies expuestas a los efectos de la intemperie para evitar su deterioro prematuro. El curado del concreto deberá iniciarse tan pronto el concreto haya endurecido lo suficiente, pero no más allá de 4 horas luego de haber sido efectuada la colada, aun cuando el encofrado no haya sido removido.

Todas las superficies de concreto deberán mantenerse húmedas constantemente, no periódica ni intermitente, durante un periodo mínimo de 8 días. También se permitirá la utilización de aditivos, de marca y calidad comprobados y aprobados por el supervisor, para el curado del concreto.

Dichos aditivos deberán ser aplicados estrictamente como lo detalla el fabricante y deberán ser compatibles con el concreto y con los materiales de acabado que se apliquen posteriormente. También se permitirá el empleo de otro material aprobado, siempre que no produzca decoloración, manchas u otros daños al concreto.

- Juntas de construcción: toda junta de construcción horizontal o vertical que se realice entre coladas de concreto, se debe conocer su ubicación exacta, la forma de realizar las juntas y la disposición de muescas, llaves y anclajes.

Dichas juntas deberán localizarse en los puntos indicados en los planos o en puntos tales que no se afecte el comportamiento estructural del elemento. En general, serán realizadas en planos perpendiculares a la dirección de los esfuerzos máximos y en las zonas de esfuerzo cortante mínimo.

A lo largo de las juntas de construcción de paredes de tanques para almacenamiento de aguas, en muros de retención de concreto reforzado y en cualquiera otra donde sea imprescindible la estanqueidad del elemento, deberá garantizarse la impermeabilidad de la junta.

- Acabados: salvo que en los planos o nota aclaratoria explícitamente se indique otra cosa, todas las superficies de concreto que no pueden ser cubiertas por encofrado deberán ser acabadas inmediatamente después de la colada, de manera integral, como parte misma de dicha labor.

Todas las superficies expuestas de concreto, verticales y horizontales, deberán quedar alineadas, uniformes y libres de depresiones.

La superficie expuesta de las losas, aceras o banquetas y cualquiera otro similar, deberá alisarse con el concreto fresco, hasta lograr un acabado uniforme.

Inmediatamente después de que se termine el alisado y cuando la dureza del concreto sea la adecuada, deberá iniciarse el rayado de la superficie por medio de un escobón o cepillo de cerdas gruesas, para dejar una superficie antideslizante.

La superficie final de estos elementos deberá cumplir con los niveles y pendientes definidos en planos.

Todos los alambres y piezas metálicas que sobresalgan en la superficie, que hayan sido utilizados para sujetar los encofrados, guías de colado o cualquier otro elemento, deberán removerse o cortarse por lo menos hasta 2,5 cm por debajo de la superficie del concreto. Este mortero tendrá una resistencia igual o mayor a la del concreto en que se aplique y un acabado similar, tanto en textura como en color.

Deberán eliminarse todos los rebordes del concreto y todas las irregularidades causadas por las juntas del encofrado. Además, todas las

juntas de construcción deberán quedar cuidadosamente acabadas y libres de todo mortero y hormigón.

- Reparaciones en el concreto: en caso de ser necesario, se deben realizar las reparaciones en el concreto, para que este cumpla con todos los requisitos estipulados en planos y especificaciones.

Todas las reparaciones que se realicen en el concreto deberán ser iniciadas inmediatamente después de retirar el encofrado, y deberán terminarse, a más tardar, 48 horas después.

Se deben reparar todos los defectos en el concreto, cavidades vacías e irregularidades, picando con mazo y cincel la sección defectuosa hasta llegar a concreto sano, eliminando todo el material suelto y limitando el área con aire comprimido o chorro de agua. Deberá tenerse el cuidado de no dañar ni golpear el refuerzo de acero durante esta labor.

A las secciones defectuosas así preparadas se les aplicará un adhesivo epóxico, luego se llenarán con mortero o concreto sin contracción, cuya resistencia deberá ser como mínimo similar a la solicitada para el elemento que se está reparando. No se permitirán las reparaciones con concreto o mortero con base en cemento Portland.

Luego de realizar las reparaciones, se deberán esmerilar las posibles irregularidades de las juntas y superficies reparadas, hasta obtener una superficie lisa y uniforme. No se permitirá ocultar manchas mediante aplicación de lechadas de cemento.

Todas las reparaciones que se realicen al concreto, deberán ser adecuadamente curadas con agua limpia durante, al menos, 8 días.

- Tolerancias y sanciones: se deben construir las obras de concreto reforzado en total apego a lo indicado en los planos y especificaciones, con variaciones en sus dimensiones que se encuentren dentro de las tolerancias definidas en esta sección.

En caso de que los parámetros de calidad estipulados no se cumplan en alguno de los elementos de concreto reforzado construido, se deberá demoler y remplazar dicho elemento.

- Mampostería: se entiende por mampostería toda la construcción compuesta por bloques de concreto, mortero, concreto y acero de refuerzo. Se debe tener todos los materiales, mano de obra, herramientas, equipo, entre otros, necesarios para la adecuada ejecución y terminación de los elementos de mampostería, tal como se detallan en planos y de acuerdo con estas especificaciones.

Todos los materiales y procedimientos empleados para elaborar las obras de mampostería deberán ser de primera calidad y cumplir con estas especificaciones.

- Materiales mampostería
 - Bloques de concreto: deberán provenir de fábricas reconocidas, que posean un adecuado control de calidad, acompañados de las respectivas certificaciones de calidad. Todos los bloques por utilizar serán de los tipos de dimensiones indicados en planos.

El espesor mínimo de las paredes de los bloques será de 2,5 cm para bloques de 15 y 20 cm de grueso y de 2,0 cm para bloque de 12 cm de grueso.

- Mortero de pega: consistirá en una mezcla de cemento, agregados, agua y aditivos (en caso de ser necesarios) capaz de mantener la consistencia y de proveer una firme adherencia entre los bloques. La humedad del mortero debe ser tal que le confiera buena trabajabilidad, pero que no exceda los límites de diseño de la misma, de acuerdo a lo indicado en la norma ASTM C-270, *Standard Specification for Mortar for unit Masonry* (Especificaciones normalizadas para morteros para unidades de mampostería).

El mortero para la pega de los bloques de concreto debe cumplir con la especificación ASTM C-161, *Specification for mortar for unit masonry* (Especificación para mortero para unidades de mampostería) últimas revisiones.

Cada bachada de mortero corresponderá a un volumen tal que permita su uso antes de que se inicie el fraguado. No se permitirá, en ningún caso, utilizar mortero con más de 45 minutos de haber sido mezclado. Tampoco se permitirá la adición de agua ni el premezclado del mortero una vez que haya endurecido o iniciado su fraguado.

El mortero deberá curarse apropiadamente, manteniéndolo húmedo, con agua limpia, durante un mínimo de 8 días. También podrá utilizarse algún otro método adecuado.

- Concreto para relleno de los bloques (*grout*): deberá ser mezclado en máquina y cumplir con todo lo estipulado en estas especificadores en lo referente a materiales, mezcla, vertido, curado, entre otros.
- Acero de refuerzo: deberá colocarse exactamente como lo indiquen los planos, y deberá cumplir con todo lo estipulado en estas especificaciones en lo referente a materiales, corte y doblado, colocación, entre otros.

Tanto el acero vertical como el horizontal deberán estar debidamente colocados, alineados y asegurados, de tal manera que la postura de los bloques y la colada del concreto de relleno no los muevan de su sitio.

Los empalmes de las barras de hacer horizontal deberán tener una longitud mínima de 1,0 metros y los extremos de estas barras deberán tener un gancho pata de 10 cm de longitud. En los lugares donde se encuentren estos empalmes se deberán rellenar con concreto todas las celdas de los bloques en el largo total del empalme.

- Ejecución del trabajo: el trabajo de albañilería, colocación y pega de los bloques y la disposición del refuerzo deberá realizarse siguiendo las mejores prácticas establecidas para este tipo de trabajo. Los bloques de concreto deberán colocarse continuamente por hiladas (filas), utilizando mortero únicamente para la unión de los mismos.

Salvo que en planos explícitamente se indique lo contrario, los bloques de concreto deberán colocarse con un traslape vertical de medio bloque. Todos los bloques de concreto deberán quedar debidamente plomados y alineados.

El espesor de las juntas de mortero, verticales y horizontales, no podrán ser menor de 1,0 cm ni mayor de 1,5 m; además, dichas juntas deberán ser continuas y uniformes en todo el área de contacto de los bloques de concreto.

Antes de verter el concreto de relleno, deberán limpiarse las celdas y asegurarse de que el concreto puede fluir hasta el fondo de la celda por rellenar. El concreto de relleno de las celdas se colocará hasta 3 filas como máximo, poniendo hasta la mitad de la altura del bloque de la última fila para que el concreto de relleno de la fila superior forme un dado de unión. Este concreto deberá ser densificado manualmente mediante punzonamiento con una barra de acero No. 4.

Todas las tuberías previstas, accesorios y otros que deban quedar dentro de la mampostería, serán colocados simultáneamente con la misma, ya que una vez que los bloques estén puestos, no se permitirá picar ni romper los mismos.

- Juntas flexibles: ya sean horizontales o verticales, deberán construirse únicamente donde así lo indiquen los planos, de acuerdo a lo establecido. En lo referente al acero de refuerzo, su colocación y continuidad o no en la junta, deberá respetarse estrictamente lo indicado en los planos.

- Acabados: los acabados y la presentación del proyecto deberán ser de primera calidad. Toda la superficie, de cualquier estructura o elemento que quede expuesta, deberá tener algún tipo de acabado. De ninguna manera se aceptarán estructuras ni elementos cuyos acabados sean deficientes.
 - Concreto expuesto: todas las superficies de concreto expuesto deberán quedar lisas, alineadas, uniformes y libres de depresión, agujeros o protuberancias.
 - Repello o enlucidos: todas las superficies expuestas de concreto o mampostería deberán acabarse con repello fino, salvo que en planos se indique otro tipo de acabado.

Los repellos deberán realizarse con mortero compuesto por arena fina de río más cemento Portland tipo ASTM C-150 *Standard Specification for Portland Cement* (Especificación normalizada para cemento Portland). La dosificación recomendada, cemento o arena, varía desde 1 a 2 hasta 1 a 4.

La mezcla del mortero deberá realizarse en mezcladoras mecánicas. Por ningún motivo se permitirá su preparación en el suelo, directamente sobre la tierra o sobre superficies terminadas de concreto u otro tipo de pavimento.

No se permitirá volver a mezclar con agua el mortero ya preparado. Deberá descartarse todo mortero que haya iniciado su fragua y prepararse únicamente la cantidad que se pueda usar dentro del término de una hora.

Las superficies por repellar deberán estar limpias, suficientemente rugosas y húmedas antes de aplicar el mortero. El espesor total máximo del repello será de 15 milímetros. No se permitirá el uso de repellos para corregir líneas ni desplomes de ninguna estructura.

En todas las etapas del proceso de repello deberán curarse adecuadamente las superficies, manteniéndolas húmedas y protegidas del sol y el viento. El repello que presente fisuras, desprendimientos, agujeros, grietas o decoloraciones de cualquier origen, será rechazado. Debe ser removido y reemplazado con repello nuevo.

- Mampostería con bloques expuestos: de acuerdo con los planos, el acabado de las estructuras de mampostería será de bloques de concreto expuesto.

Las juntas de mortero de pega entre bloques deberán ser trabajadas cuidadosamente. Las sisas deberán ser uniforme de 10 mm de profundidad por 10 mm de espesor, perfectamente redondeadas, para lograr un acabado y apariencia de óptima calidad.

- Enchapes: de acuerdo con los planos, en las áreas en que indiquen enchapes estos deberán realizarse utilizando el tipo, tamaño, calidad y demás características especificadas en ellos. Todos los enchapes deberán quedar alineados y nivelados, salvo indicación contraria de los planos.

El mortero de pega deberá ser de espesor uniforme de marca y calidad reconocida. El espesor de las sisas, así como su color deberá ser el indicado en planos.

- Canal de rejas: deberá llevar (repello + fibra de vidrio) + (alisado de cemento) + capa de impermeabilizante de base cementicia, de acuerdo con lo indicado en los planos.

Se debe tener agua potable y una manguera diámetro 1 ½" con boquilla *Stream Nozzle*, para limpieza de espuma y otros materiales flotantes, con chorros de agua.

- Rejas: consiste en hembras de ¼" x 1 ½" de acero al carbón más dos manos de anticorrosivo. La unión de las varillas con las hembras y hembras con la lámina se harán con soldadura.

En las perforaciones de diámetro de 3/8" a 5 cm en ambos sentidos, es importante verificar que la platina sea insertada al fondo del canal desarenado. Las rejillas deberán ser recubiertas con 2 manos de pintura anticorrosiva color gris y una mano de pintura color blanco para acabado final. Se debe fundir hembras a relleno de concreto pobre en fondo de canal desarenador, y verificar que la hembra de cada extremo quede lo más pegada posible al canal.

Los muros son con refuerzo No.4 a 0,20 m en ambos sentidos, concreto f'c 210 kg/cm². El acabado es cernido más impermeabilizante de base cementicia o similar.

- Accesorios del canal de rejas: las rejas serán construidas con platinas de acero inoxidable. Se colocará un vertedero sutro para la medición de caudales de acuerdo con lo indicado en los planos.

Se debe tener agua potable y una manguera diámetro 1 ½" con boquilla *Stream Nozzle* para limpieza de espuma y otros materiales flotantes, mediante chorros de agua.

- Trampa de grasas

- Tanque de la trampa de grasas (concreto reforzado): deberá llevar repello más fibra de vidrio más impermeabilizado de base cementicia o similar, de acuerdo a lo indicado en los planos.

Las áreas exteriores deberán llevar repello más fibra de vidrio y cernido remolineado.

El tanque debe ser fundición de muros de concreto, debe llevar repello e impermeabilizado de muros.

- Reactor anaerobio de flujo ascendente

- Tanque del reactor anaerobio de flujo ascendente: los muros estarán hechos de acuerdo a de acuerdo a lo indicado en los planos. Deberán tener acabado cernido más impermeabilizante de base cementicia o similar.

- Accesorios del reactor anaerobio de flujo ascendente
 - Elementos fabricados totalmente en resina poliéster.
 - Refuerzos estructurales en fibra de vidrio.
 - Accesorios de tubería de PVC y tubo PVC.
 - Carbón activado y/o zeolita de diámetro no menor a 1 mm.
 - Lecho filtrante entramado en material plástico.
 - El concreto relleno $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.
 - El recubrimiento mínimo para muros será de 5 cm.
 - El recubrimiento mínimo para losas de cimentación que no tenga contacto directo con el suelo será de 5 cm.
 - El recubrimiento mínimo para losas de cimentación que no tengan contacto directo con el suelo será de 5 cm.
 - El recubrimiento mínimo para losas de cimentación que tengan contacto directo con el suelo será de 7 cm.
 - La longitud de empalme para el acero de refuerzo se realizará conforme a la siguiente tabla:

Tabla XX. **Longitud de empalme para el acero de refuerzo**

Varilla de refuerzo No.	Longitud de empalme o anclaje
3	40
4	50
5	60
6	70
7	80
8	90

Fuente: elaboración propia.

- Se colocará un ducto de extracción de lodos en 50 cm x 50 cm, en la esquina o exterior de cada uno de los tanques del RAFA. Los tanques tendrán pañuelos para guiar los lodos hacia ese ducto con el fin de precipitarlos al ducto de bombeo donde se colocaría la bomba en el momento que necesiten el servicio de extracción del lodo y limpieza.
- Filtro anaerobio de flujo ascendente
 - Tanque del filtro anaerobio de flujo ascendente: los muros serán construidos de acuerdo a lo indicado en los planos. El acabado es cernido más impermeabilizante de base cementicia o similar.

Se colocará un ducto de extracción de lodos en 50 cm x 50 cm, en la esquina o exterior de cada uno de los tanques del FAFA.

Los tanques tendrán pañuelos para guiar los lodos hacia ese ducto con el fin de precipitar los lodos al ducto de bombeo, donde se colocaría la bomba en el momento que necesiten el servicio de extracción del lodo y limpieza.

- Accesorios del tanque del filtro anaerobio de flujo ascendente.
- Cajas de unión
 - Cajas de concreto: todas serán construidas de block vacío de 25 kg/cm² de 0,14 x 0,19 x 0,39 m, colocados de soga, con sisas de 1 cm, ensabietado en sus paredes y con tapadera de visita.

La base de la caja será de concreto armado de 3 000 PSI y un espesor de 5 cm. En el fondo de cada caja se colocará o construirá una cañuela o media caña en dirección de la corriente del agua del drenaje para su pronta evacuación y limpieza.

Para profundidades mayores a 0,80 m pueden colocarse escalones de la misma forma que se hace para los pozos de visita.

- Clarificador final
 - Fundición de muros en concreto: debe llevar repello más impermeabilizado de base cementicia y alisado con impermeabilizante de base cementicia.

Las áreas exteriores deberán llevar repello más cernido remolineado. Los muros tienen refuerzo No. 4 a 0,20 m ambos sentidos de concreto 210 kg/cm². Acabado cernido más impermeabilizante de base cementicia o similar.

- Manifold de tubo de 3" para colocar tabletas de cloro de 2 ½ de diámetro. Colocar en el tanque clorador de 10 a 20 minutos, con tabletas de duraflor al 90%.
- Patio de secado de lodos
 - Patios: deberá llevar impermeabilizado de base cementicia y alisado en pasta de cemento. El área exterior deberá llevar repello y cernido remolineado.
 - Cubierta de acuerdo con lo especificado.
 - Los patios tendrán pañuelos adecuados, de acuerdo a lo indicado en los planos.
- Instalación de agua: se instalará red de agua para unirse al edificio más próximo con tubería de PVC de ½" para conectar tres chorros cercanos a la planta, los cuales serán utilizados en labores de limpieza de la planta.
- Instalación de equipo para extracción de biogás:
 - Sistema de recolección, almacenamiento y quemado de excedente de biogás

- Tuberías de recolección en el RAFA
- Tanque de almacenamiento de biogás
- Tea para quemado de excedentes de biogás
- Cerca perimetral de malla galvanizada de 2,4 m de alto, con tubo HG de 2" con base de concreto, tres hiladas de block más malla galvanizada. Se debe proveer toda la mano de obra, materiales, equipo, herramientas y servicios necesarios para esta actividad, de acuerdo con lo indicado en los planos.
 - Muros de malla de alambre galvanizado de altura variable de cuadro de 3" * 3" cal. 12 y postes de tubos de hierro galvanizado de Ø de 1 ¼" @ 2,00 máximo.
 - Puerta de tubo de HG y malla alambre galvanizado, 1,00 m x 2,10 m
 - Portón de tubo HG de 2" de diámetro, con candado, cadena y alambre razor.
 - Portón de dos hojas de tubos de HG y malla alambre galvanizado 5,00 x 2,10 m, con candado. Deberá quedar bien colocado y permitir seguridad para que no entren al sitio cualquier persona.

Se debe proveer toda la mano de obra, materiales, equipo, herramientas y servicios necesarios para esta actividad de acuerdo con lo indicado en los planos.

- Limpieza general: una vez se haya terminado la ejecución de algún renglón de trabajo correspondiente a la jornada del día, se procederá a efectuar limpieza general del área afectada. Se retirará los residuos de materiales, basura, formaletas y cualquier otro material perjudicial al libre tránsito.

Al momento de efectuar la recepción del proyecto, este y el área afectada deberán estar completamente limpias.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

4.1. Población beneficiada

Con la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en el Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán se beneficiará directamente a la población del municipio de Amatitlán, ya que el agua residual generada por este establecimiento de salud recibirá un tratamiento previo al desfogue en los drenajes municipales que, a su vez, desfogan en el río Michatoya, disminuye el riesgo de epidemias en la población.

Según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), la población del municipio de Amatitlán asciende aproximadamente a 119 753 habitantes; a continuación se presenta una proyección estimada de la población para los próximos 20 años.

De acuerdo con la información proporcionada por la Dirección Ejecutiva del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán, en la actualidad se presta atención médico hospitalaria a pacientes provenientes principalmente de los departamentos de Escuintla, Santa Rosa y Guatemala, principalmente de los municipios aledaños como Palín y los más próximos de la ciudad capital.

Tabla XXI. **Proyección estimada de la población del Municipio de Amatitlán**

Año	Población
2016	119 753
2017	121 953
2018	124 111
2019	126 227
2020	128 299
2021	130 478
2022	132 614
2023	134 751
2024	136 887
2025	139 023
2026	141 160
2027	143 296
2028	145 433
2029	147 569
2030	149 705
2031	151 842
2032	153 978
2033	156 115
2034	158 251
2035	160 387

Fuente: elaboración propia.

4.2. Análisis financiero

La evaluación económica de un proyecto de inversión mediante el análisis beneficio - costo tiene como finalidad ayudar a adoptar decisiones objetivas sobre el mismo a partir de la comparación entre los beneficios y costos que genera dicho proyecto a lo largo del tiempo. Cuando estas decisiones se plantean exclusivamente desde el punto de vista de quienes realizan la

intervención en el mercado, lo relevante en tal comparación suele ser solamente la diferencia entre los ingresos y costos privados que genere el mismo para ellos. La manera habitual de definir el proyecto es como una corriente de beneficios y costos que se distribuyen a lo largo del tiempo. Si la evaluación es desde el punto de vista privado, estos beneficios y costos incluirán únicamente ingresos y costos financieros, mientras que en una evaluación social los beneficios y costos se definen de forma más amplia. Se responde así a la cuestión de si debe realizarse el proyecto desde la perspectiva de la sociedad en su conjunto al tomar como referencia la contribución de este al bienestar social.

En cumplimiento de las normas del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) de la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN), para cada proyecto del Estado que genere capital fijo debe realizarse un estudio financiero con el propósito de establecer la rentabilidad financiera de los proyectos. De acuerdo con su naturaleza, deberán hacer el análisis en relación al costo beneficio y presentar indicadores como valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR) para proyectos productivos. Para proyectos sociales, el análisis se debe hacer en función del costo eficiencia y presentar el indicador de costo anual equivalente (CAE).

Para esta propuesta, al tratarse de un proyecto social, se utilizará una tasa social de descuento constante del 12%, ya que es la utilizada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y otros organismos internacionales.

El presupuesto está integrado por todos los renglones y rubros del proyecto, como la obra civil, equipamiento, conexiones eléctricas, caseta, sistemas de tubería, movimiento de tierras, administración, servicios legales, servicios de ingeniería / arquitectura, inspecciones e imprevistos, entre otros.

4.2.1. Presupuesto estimado de construcción de planta de tratamiento

En la evaluación económica de un proyecto de tratamiento de aguas residuales es necesario considerar los costos de construcción y los asociados a estos. La estimación de los recursos fue con base en los rendimientos promedio que se observaron en la ejecución de las actividades en diferentes proyectos ejecutados por el Ministerio de Salud y Asistencia Social.

Tabla XXII. Renglones de trabajo propuesta PTAR Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán

Renglones de trabajo	Unidad	Cantidad
Trabajos preliminares	m ³	2 008,27
Construcciones de piedra	m ³	288
Tuberías	M	1
Canal de rejillas	Unidad	1
Trampa de grasas	Unidad	1
Reactor anaerobio de flujo ascendente	Unidad	1
Cajas de unión	Unidad	3
Patio de secado de lodos	m ²	28,6
Sistema de bombeo de lodos	Unidad	2
Cerca perimetral	M	57
Limpieza final	m ²	1270

Fuente: elaboración propia.

Generalmente, los costos que influyen en la construcción de una PTAR están representados por los siguientes componentes:

- Obra civil: se considera la cantidad de obra requerida en m³ de concreto armado (el mayor costo es el concreto; después le sigue el acero de refuerzo).
- Equipamiento: se limita al equipo electromecánico necesario (bombas). En el caso del tanque RAFA, el separador GSL, la captación del biogás, y el sistema de distribución deben ser considerados.
- Sistemas de tubería: se considera como un 25% del costo total de construcción.
- Instalación eléctrica: se considera como un 10% del costo total de construcción.
- Controles e instrumentos: se considera como un 5% del costo total de construcción, debido a que se favorece la operación manual.
- Otros: como los costos del inóculo (tanque RAFA) y de arranque, pruebas hidrostáticas en los tanques, ensayos que se tengan que realizar para asegurar una buena operación.
- Costos asociados como administración, servicios legales, servicios de ingeniería/arquitectura, inspecciones e imprevistos, otros. Los costos asociados equivalen aproximadamente al 25% del costo total de construcción.

Para estimar los costos del sistema de tratamiento de aguas residuales del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán se consideró:

- Costos directos de materiales y mano de obra.
- Costos indirectos correspondientes: administración, utilidad e imprevistos del contratista.
- En los costos de los materiales se estimó el valor de los impuestos y la colocación en el sitio de la construcción.

De acuerdo con las características particulares de la PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán, el presupuesto del proyecto se integra de la siguiente manera:

Tabla XXIII. Presupuesto PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán

No.	Renglones de trabajo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Q)	Sub-total Proyecto (Q)	Total del Proyecto (Q)
1.00	Trabajos preliminares					Q117 025,79
1.01	Trazo, nivelación y estaqueado	m	57,00	28,00	1 596,00	
1.02	Tala de árboles	unidad	10,00	195,20	1 951,98	
1.03	Limpia, chapeo y destronque	m ²	1270,00	2,54	3 223,77	
1.04	Demolición de revestimiento y muro de piedra	m ³	56,00	104,00	5 824,00	
1.05	Excavación	m ³	2008,27	52,00	104 430,04	
2.00	Construcciones de piedra					Q156 641,79
2.01	Muros de contención de piedra	m ³	288,00	538,80	155 174,40	
2.02	Gradas	m ²	17,72	82,81	1 467,39	
3.00	Tuberías					Q13 901,15
3.01	Tuberías de PVC Ø 3/4", 160 psi para instalación de agua	m	120,00	15,33	1 840,00	
3.02	Tuberías de PVC Ø 4", 160 psi	m	49,75	74,00	3 681,50	
3.03	Tuberías ASTM F949 de 6", para drenaje	m	46,64	179,67	8 379,65	

Continuación de la tabla XXIII.

4.00	Canal de rejas					Q1 872,00
4.01	Tanque del canal de rejas (concreto reforzado)	U	1,00	1 872,00	1 872,00	
5.00	Trampa de grasas					Q4 243,50
5.01	Tanque de la trampa de grasas (concreto reforzado)	Unidad	1,00	4 243,50	4 243,50	
6.00	Reactor anaerobio de flujo ascendente					Q203 321,00
6.01	Tanque del reactor anaerobio de flujo ascendente	Unidad	1,00	188 555,00	188 555,00	
6.02	Accesorios del reactor anaerobio de flujo ascendente	Unidad	1,00	14 766,00	14 766,00	
7.00	Filtro anaerobio de flujo ascendente					Q45 026,91
7.01	Tanque del filtro anaerobio de flujo ascendente	Unidad	1,00	45 026,91	45 026,91	
8.00	Cajas de unión					Q9 300,00
4.21	Cajas de concreto	Unidad	3,00	1 500,00	4 500,00	
4.22	Accesorios de las cajas de unión	Unidad	6,00	800,00	4 800,00	
9.00	Patio de secado de lodos					Q39 166,65
9.01	Patios	m ²	28,55	416,00	11 876,80	
9.02	Cubierta	Unidad	1,00	27 289,85	27 289,85	
10.00	Sistema de bombeo de lodos					Q79 948,16
10.01	Instalación de ducto para colocación de bomba en RAFA y FAFA	Unidad	2,00	4 000,00	8 000,00	
10.02	Equipos de bombeo	Unidad	2,00	32 474,08	64 948,16	
10.03	Instalación eléctrica	Global	1,00	4 000,00	4 000,00	
10.04	Instalación de agua y colocación de chorros de agua a la par de cada unidad de PTAR	ml	120,00	25,00	3 000,00	
11.00	Cerca perimetral					Q68 760,00
11.01	Cerca perimetral de malla galvanizada 2.4 m de alto	Global	57,00	1 080,00	61 560,00	
11.02	Puerta de tubo de HG. y malla g. 1.00 m x 2.10 m	Unidad	1,00	1 200,00	1 200,00	
11.03	Portón de dos hojas de tubos de HG. y malla g. 5.00 m x 2.10 m	Unidad	1,00	6 000,00	6 000,00	

Continuación de la tabla XXIII.

12.00	Limpieza final					Q6 350,00
12.01	Limpieza final	m ²	1 270,00	5,00	6 350,00	
	Costo directo					Q745 556,95
	Costo indirectos	0,35347053				Q 263 532,41
	Sub-total					Q1 009 089,36
	IVA	12%				Q 121 090,72
	Precio total					Q1 130 180,08
UN MILLÓN CIENTO TREINTA MIL CIENTO OCHENTA QUETZALES CON OCHO CENTAVOS						

Fuente: elaboración propia.

En la práctica del tratamiento anaeróbico de aguas residuales, la corrosión es el mayor problema en el mantenimiento de la planta; el H₂S es el componente que causa los más grandes problemas de corrosión. En la selección de materiales de construcción para la PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán, esto debe tomarse en cuenta, considerando además que el uso de materiales muy resistentes resulta generalmente muy costoso. Un diseño apropiado, entonces, busca un óptimo en el uso de materiales resistentes a un bajo costo.

4.2.2. Presupuesto estimado de operación

En el diseño del proyecto se considera una vida útil de 20 años; durante la operación del proyecto se requerirá el pago mensual de los servicios básicos, como agua potable, electricidad.

Para la adecuada operación y mantenimiento de la PTAR, se requiere personal con preparación y entrenamiento apropiado. El personal deberá atender diversas tareas, tanto de índole administrativo como operativo y misceláneo, para lo cual deberán cubrirse los diferentes turnos de trabajo:

- Diurno u ordinario, 06:00 hasta 14:30 horas.
- Vespertino o mixto, 14:00 hasta 22:30 horas.
- Extraordinarios, de acuerdo a las condiciones particulares de operación y mantenimiento de la PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán.

La limpieza diaria de las instalaciones y la operación de la planta la realizará el personal de conserjería del hospital, por lo que es recomendable contratar a una persona específicamente para la planta de tratamiento (operador). A continuación se detallan los costos mensuales de los mismos.

Tabla XXIV. **Tasa de inflación años 2007 – 2018 porcentajes**

Periodo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	6,22	8,39	7,88	1,43	4,9	5,44	3,86	4,14	2,32	4,38	3,83	4,71
Febrero	6,62	8,76	6,5	2,48	5,24	5,17	4,18	3,5	2,44	4,27	3,96	4,15
Marzo	7,02	9,1	5	3,93	4,99	4,55	4,34	3,25	2,43	4,26	4	4,14
Abril	6,4	10,37	3,62	3,75	5,76	4,27	4,13	3,27	2,58	4,09	4,09	3,92
Mayo	5,47	12,24	2,29	3,51	6,39	3,9	4,27	3,22	2,55	4,36	3,93	
Junio	5,31	13,56	0,62	4,07	6,42	3,47	4,79	3,13	2,39	4,43	4,36	
Julio	5,59	14,16	-0,3	4,12	7,04	2,86	4,74	3,41	2,32	4,62	5,22	
Agosto	6,21	13,69	-0,73	4,1	7,63	2,71	4,42	3,7	1,96	4,74	4,72	
Septiembre	7,33	12,75	0,03	3,76	7,25	3,28	4,21	3,45	1,88	4,56	4,36	
Octubre	7,72	12,93	-0,65	4,51	6,65	3,35	4,15	3,64	2,23	4,76	4,2	
Noviembre	9,13	10,85	-0,61	5,25	6,05	3,11	4,63	3,38	2,51	4,67	4,69	
Diciembre	8,75	9,4	-0,28	5,39	6,2	3,45	4,39	2,95	3,07	4,23	5,68	
Promedio	6,81	11,35	1,95	3,86	6,21	3,80	4,34	3,42	2,39	4,45	4,42	4,23

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

Tabla XXV. **Presupuesto estimado de operación PTAR Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán**

Renglon					
No.	Descripción	Cantidad meses	Unidad	Costo unitario (Q)	Subtotal anual (Q)
1	Servicios básicos				
	Agua	12	Global mensual	50,00	600,00
	Luz	12	Global mensual	100,00	1 200,00
2	Mano de obra				
	Mano de obra no calificada	12	Global mensual	3 000,00	36 000,00
3	Materiales e indumentaria	12	Global mensual	250,00	3 000,00
Total					40 800,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Costos anuales estimados de operación + tabla de inflación anual**

No.	Año	Costos anuales estimados de operación + tabla de inflación anual
Año 1	2016	Q 40 800,00
Año 2	2017	Q 42 668,64
Año 3	2018	Q 44 622,86
Año 4	2019	Q 46 666,59
Año 5	2020	Q 48 803,92
Año 6	2021	Q 51 039,14
Año 7	2022	Q 53 376,73

Continuación de la tabla XXVI.

Año 8	2023	Q	55 821,39
Año 9	2024	Q	58 378,01
Año 10	2025	Q	61 051,72
Año 11	2026	Q	63 847,89
Año 12	2027	Q	66 772,12
Año 13	2028	Q	69 830,28
Año 14	2029	Q	73 028,51
Año 15	2030	Q	76 373,22
Año 16	2031	Q	79 871,11
Año 17	2032	Q	83 529,21
Año 18	2033	Q	87 354,85
Año 19	20134	Q	91 355,70
Año 20	2035	Q	95 539,79

*La tasa de inflación utilizada es del 4,58 %, la cual es la tasa promedio entre los años 2007-2018

Fuente: elaboración propia.

4.2.3. Presupuesto de mantenimiento

Una adecuada operación y mantenimiento de la PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán garantiza el éxito del tratamiento de las aguas residuales como una medida de mitigación que ayude a disminuir y controlar la contaminación del río Michatoya.

El personal deberá atender diversas tareas, tanto de índole administrativo, como operativo y misceláneo, para lo cual deberán cubrirse los siguientes turnos de trabajo o jornadas:

- Diurna u ordinaria, 06:00 hasta 14:30 horas.
- Vespertina o mixta, 14:00 hasta 22:30 horas.

- Extraordinarios, de acuerdo a las condiciones particulares de operación y mantenimiento de la PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán.

Para la elaboración del presupuesto de mantenimiento se consideraron los costos de mantenimiento de la infraestructura, los que serán cubiertos por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. La vida útil estimada para este proyecto es de 20 años.

En el presupuesto de mantenimiento del área se incluye una revisión anual de la obra civil, así como el mantenimiento para las instalaciones hidráulicas (tubería de drenajes, agua potable y baños), instalaciones eléctricas (luminarias, distribución de corriente eléctrica, transformadores y cajas de flipón).

Dentro del mantenimiento de edificios se incluye pintura y limpieza, así como análisis de laboratorio para verificar la calidad del agua después del tratamiento. El Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán es una institución pública, por lo que el Laboratorio Nacional realizara las pruebas sin ningún costo.

Tabla XXVII. **Presupuesto de mantenimiento PTAR Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán**

Renglones					
No.	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario (Q)	Subtotal anual (Q)
1	Materiales				
	Pintura para muros	2	Cubetas	280,00	560,00
	solvente para pintura	4	Botella	35,00	140,00
	Materiales varios	1	1	600,00	600,00
2	Mano de obra				
	Mano de obra no calificada	1	Global	400,00	400,00
	Herramienta y equipo	1	Global	300,00	300,00
3	Análisis de laboratorios*	1	Global	0,00	0,00
4	Extracción de lodos	110	m ³	250,00	27 500,00
Total					29 500,00

* Los análisis los realiza el Laboratorio Nacional, unidad perteneciente al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, por lo que no tienen costo.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Costos anuales estimados de mantenimiento + tabla de inflación anual**

No.	Año	Costos anuales estimados de operación + tabla de inflación anual
Año 1	2016	Q 29 500,00
Año 2	2017	Q 30 851,10
Año 3	2018	Q 32 264,08
Año 4	2019	Q 33 741,78
Año 5	2020	Q 35 287,15
Año 6	2021	Q 36 903,30
Año 7	2022	Q 38 593,47
Año 8	2023	Q 40 361,05
Año 9	2024	Q 42 209,59
Año 10	2025	Q 44 142,79
Año 11	2026	Q 46 164,53
Año 12	2027	Q 48 278,86
Año 13	2028	Q 50 490,03
Año 14	2029	Q 52 802,48
Año 15	2030	Q 55 220,83
Año 16	2031	Q 57 749,95
Año 17	2032	Q 60 394,89
Año 18	2033	Q 63 160,98
Año 19	20134	Q 66 053,75
Año 20	2035	Q 69 079,01

*La tasa de inflación utilizada es del 4.58 %, la cual es la tasa promedio entre los años 2007-2018.

Fuente: elaboración propia.

4.2.4. Valor actual de costos

A continuación se presenta el análisis del valor actual de los costos, con base en los presupuestos de construcción, operación y mantenimiento del proyecto de la PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán.

Tabla XXIX. **Análisis valor actual de costos PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán**

No.	Inversión inicial	Costos de operación y mantenimiento	Factor de actualización $1/(1+i)^n$	Costos actuales (Q)
0	Q 1 130 180,08		1,0000	1 130 180,08
1		70 300	0,8929	62 767,86
2		73 520	0,7972	58 609,49
3		76 887	0,7118	54 726,61
4		80 408	0,6355	51 100,97
5		84 091	0,5674	47 715,53
6		87 942	0,5066	44 554,38
7		91 970	0,4523	41 602,65
8		96 182	0,4039	38 846,47
9		100 588	0,3066	36 272,90
10		105 195	0,3220	33 869,82
11		110 012	0,2875	31 625,94
12		115 051	0,2567	29 530,72
13		120 320	0,2292	27 574,31
14		125 831	0,2046	25 747,51
15		131 594	0,1827	24 041,74
16		137 621	0,1631	22 448,98
17		143 924	0,1456	20 961,73
18		150 516	0,1300	19 573,02
19		157 409	0,1161	18 276,30
20		164 619	0,1037	17 065,50
Valor actual de costos (VAC)				1 837 092,50

*La tasa de actualización utilizada es del 12% por ser un proyecto social.

Fuente: elaboración propia.

4.2.5. Costo anual equivalente

$$\text{Fórmula CAE} = \text{VAC} * i (1+i)^n / (1+i)^n - 1$$

Donde:

i = tasa de actualización o descuento (i = 12% para proyectos sociales)

n = período o años de vida útil del proyecto

$$\text{Factor de interés} = i (1+i)^n / (1+i)^n - 1 = 0,12 (1+0,12)^{20} / (1+0,12)^{20} - 1$$

$$\text{Factor de interés} = 0,13387878$$

Tabla XXX. **Análisis costo anual equivalente PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán**

No.	Población beneficiada	VAC	Factor de valor presente anualidad	CAE
0	119 753	Q 1 837 092,50	0,13387878	Q 245 947,70
1	121 953			-
2	124 111			-
3	126 227			-
4	130 478			-
5	132 614			-
6	134 751			-
7	136 887			-
8	136 887			-

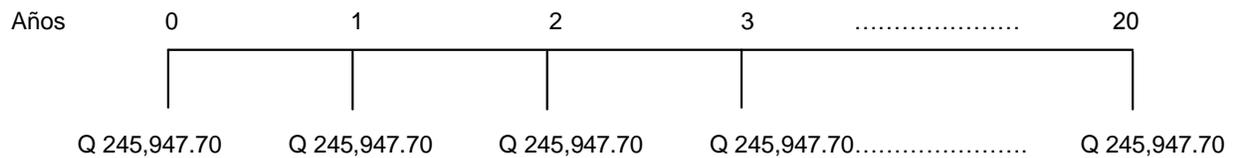
Continuación de la tabla XXX.

9	139 023			-
10	141 160			-
11	143 296			-
12	145 443			-
13	147 569			-
14	149 705			-
15	151 842			-
16	153 978			-
17	156 115			-
18	158 251			-
19	160 387			-
20	160 387			-
Promedio	142 123		CAE	Q 245 947,70

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Anualidad} = \text{VAC} * \text{FACTOR} = \text{Q } 1\,837\,092,50 * 0,13387878 = \text{Q } 245,947.70$$

Figura 20. **Gráfica de flujo de fondos**



Fuente: elaboración propia.

4.2.6. Análisis beneficio costo

Promedio anual de beneficiarios = 142 123 habitantes

Costo anual equivalente = CAE / promedio de beneficiarios anuales

Costo anual equivalente = Q 245 947,70 / 142 123 = Q 1,73

El costo por beneficio del proyecto es igual a Q 1,73, que corresponde al monto por invertir por cada habitante beneficiario del proyecto, ya que por tratarse de un proyecto social será financiado y pagado en su totalidad por el Gobierno Central a través del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

En los artículos 93, 94 y 95 de la Constitución Política de la República, se establece que es obligación del Estado desarrollar las acciones necesarias en cuanto a la planificación y ejecución de los programas de salud dirigido a los guatemaltecos y a las guatemaltecas, con el fin de tener una adecuada calidad de vida y condiciones para su desarrollo.

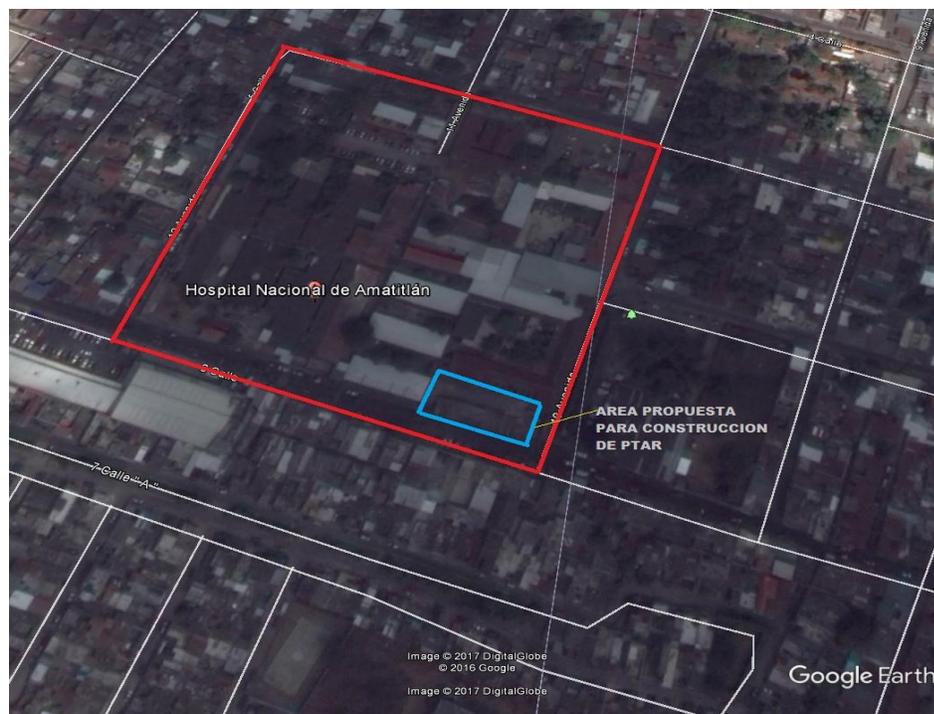
El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social promoverá cambios de comportamiento, actitudes y esquemas mentales del personal institucional del sistema oficial de salud. Los servicios estarán orientados a promover cambios para que respondan a la cultura de los pueblos indígenas, que son comunidades muy afectadas por la contaminación de los recursos hídricos. (Acuerdo Ministerial No.1632-2009).

4.3. Ubicación para la planta de tratamiento

La PTAR se localiza dentro de las instalaciones del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán, de acuerdo con los siguientes parámetros:

- La diferencia de nivel entre el punto de desagüe y el punto de descarga debe permitir la conducción del caudal a pendientes y velocidades dentro de las normas establecidas.
- Estar a una distancia apropiada de las instalaciones del hospital.
- Topografía adecuada para que el sistema de la planta funcione por gravedad.
- Que no genere problemas con los vecinos.

Figura 21. **Ubicación PTAR Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán**



Fuente: elaboración propia con base en imágenes Google Earth.

4.4. Procesos por implementar para mejorar el manejo de aguas residuales y la disposición del agua

Las opciones de producción más limpia en cuanto al manejo del recurso hídrico deben estar orientadas hacia tres aspectos específicos: reducir los consumos de agua para los diversos usos, sustituir insumos potencialmente peligrosos por otros de menor riesgo para el medio ambiente y prevenir la descarga de sustancias contaminantes en los efluentes líquidos.

- Conformación de un comité para el uso racional del agua y la prevención de la contaminación: tiene la responsabilidad de manejar en forma integral el recurso hídrico y de los residuos hospitalarios, proponer programas para el ahorro del agua, establecer metas de reducción de consumos de agua, diseñar estrategias para estimular a todos los trabajadores a que aporten ideas, las pongan en práctica y se sientan partícipes de los logros y responsables por el desempeño ambiental del hospital.
- Educación del personal: todo el personal del hospital debe ser consciente de la necesidad de reducir los consumos de agua y las cargas contaminantes y del papel que a cada uno le compete para lograr el cumplimiento de las metas de reducción de los consumos.
- Medición de los consumos y establecimiento de un plan de ahorro del agua: es necesario medir el consumo de agua es necesaria para poner en práctica un plan de reducción del mismo en el hospital y establecer indicadores que permitan monitorear permanentemente los avances.

- Renovación de las redes internas: los drenajes con el tiempo se deterioran, generan fugas y goteos; es recomendable reemplazar los tubos de hierro galvanizado, si existieren, por tubos de PVC o tuberías de cobre tipo L.
- Limitar el uso del agua en los procesos de lavado: educar y capacitar al personal encargado de las operaciones de lavado en el hospital; existe la opción de limitar la cantidad de agua mediante la instalación de una válvula de retención, antes de la llave de salida.
- Uso eficiente del agua en los grifos de lavamanos y fregaderos: se pueden instalar aireadores que mezclan aire con el agua, a fin de reducir el flujo del agua; o boquillas aspersoras que hacen que el agua salga como una regadera diminuta y se pueden mover para dirigir la aspersion hacia el sitio deseado.
- Uso eficiente del agua en las duchas: una ducha estándar descarga 80 litros de agua, en un tiempo de 5 minutos; se pueden instalar pomos de ducha que incorporan aire en la corriente de agua y dan la sensación de un chorro fuerte, para mayor satisfacción de quien toma el baño; el caudal pasa de 16 L/min a 8 L/min. Si una persona se ducha durante 10 minutos, el ahorro conseguido es de 80 litros por baño.
- Optimización del control de las calderas: se puede acondicionar el agua de alimentación de la caldera, lo que garantiza una alta eficiencia térmica, disminuye el consumo de combustible y los costos operativos y de mantenimiento.

- Control de fugas y escapes en tuberías, grifos y accesorios: los goteos en las tuberías y los equipos pueden ocasionar grandes desperdicios de recursos; las fugas en tuberías y accesorios deben ser reparadas tan pronto como sean reportadas. El mantenimiento es clave en los siguientes casos: bombas, motores, juntas de tuberías y accesorios.
- Clasificación de la ropa usada según el grado de suciedad: consiste en separar desde la fuente las prendas contaminadas de las prendas no contaminadas y clasificarlas según el grado de suciedad.
- Aplicar las dosis mínimas de detergentes y otros insumos en las lavadoras de ropa y en las operaciones generales de limpieza del hospital: no requiere inversión, solamente la concienciación del personal encargado de dichas labores.
- Reorganizar las rutinas de lavado ropa y loza, así como las prácticas de esterilización, de tal forma que las lavadoras, máquinas lavaplatos y autoclaves se utilicen siempre en su máxima capacidad.
- Recoger los derrames de sustancias químicas en seco: existen productos absorbentes que pueden ser utilizados para recoger los derrames de líquidos. Los sólidos pueden recogerse barriendo en seco hacia un recogedor.
- El uso del agua para lavar el derrame debe descartarse completamente, a menos que la naturaleza de la sustancia lo permita. El personal a cargo del manejo de sustancias químicas debe capacitarse en el procedimiento de recogida de este tipo de derrames y las precauciones

que debe tomar en su protección personal y manipulación del residuo recogido.

- Evitar la utilización de los desagües como puntos de disposición final de drogas y otras sustancias que pueden ser dispuestas por otros medios como la incineración o el relleno sanitario.
- Observar los tiempos de reposo exigidos para la inactivación de sustancias que luego podrán ser descargadas al sistema de alcantarillado. Algunas sustancias como los antibióticos, jarabes, residuos radiactivos, entre otras, pueden ser diluidas en agua y dejadas en reposo durante un tiempo que depende de su naturaleza, al cabo de los cuales pierden su toxicidad y pueden ser descargadas al sistema de drenajes sin riesgo.
- Eliminar los trituradores de residuos de comida en los fregaderos de las cocinas: en su lugar instalar mallas retenedoras que permitan su recogida y disposición como residuos sólidos orgánicos
- Recoger separadamente los líquidos agotados de los revelados de radiografías y entregarlos a un gestor autorizado: los efluentes del revelado de placas de rayos X requieren un tratamiento especial; por este motivo, los laboratorios de rayos X deben tener una zona donde se almacenen las soluciones sobrantes y el agua utilizada, antes de su disposición final. Por ningún motivo deben descargarse al alcantarillado las soluciones agotadas ni los enjuagues de los baños de revelado.

- Usar detergentes biodegradables y limpiadores a base de agua, siempre que sea posible: actualmente existen en el mercado una amplia gama de detergentes biodegradables para múltiples usos, que son amigables con el medio ambiente. Los limpiadores a base de agua son menos agresivos para el medio ambiente que los limpiadores a base de solventes.
- Establecer procedimientos de limpieza con solventes en contracorriente, de tal forma que la limpieza inicial se realice con solvente usado y la limpieza final con solvente fresco. Son necesarias actividades de capacitación y campañas educativas y de concienciación para alcanzar los objetivos.
- Colocarse como meta la reducción del consumo de agua 10% respecto al año anterior.
- Utilización de grifería ecológica que ahorra un mínimo del 50% de agua y el 30% de energía.
- Instalación de equipos dosificadores adecuados al uso y/o ergonómicamente adaptados al uso cotidiano.
- La grifería temporizada, por pulsador.
- Uso de sistemas ideales para recintos de atención sanitaria.

Estas tecnologías reducen el consumo de agua de hasta el 60% y ahorran la energía inherente para calentar la misma. Son técnicas que no recortan el confort del usuario.

4.5. Medidas de seguridad en la planta de tratamiento

Las medidas de seguridad están dirigidas a que el personal cumpla con sus funciones y proteja su integridad física, así como su salud, para lo cual es necesario que cuente con los equipos y las herramientas apropiadas para hacer su trabajo y de los elementos necesarios para preservar su integridad física.

Son una herramienta que propone procedimientos que aseguren las condiciones básicas necesarias de infraestructura que permitan a los trabajadores tener acceso a los servicios de higiene y médico esenciales, mejorar las condiciones de trabajo, hacen su labor más segura y eficiente, reducir los riesgos de accidentes, dotarlos de equipos de protección personal y capacitarlos en procedimientos y hábitos de seguridad.

La prevención de accidentes es el resultado de la aplicación de unos cuantos principios básicos y el conocimiento de los peligros potenciales. Hay que saber cómo ser cuidadoso y qué se debe evitar.

Se debe elaborar un Programa de Contingencias que incluya respuestas planificadas y ordenadas frente a la aparición de una emergencia, accidente o catástrofe de algún tipo para evitar un accionar precipitado que disminuya las posibilidades de hacer frente al problema o lleve al agravamiento de la situación.

Los principales riesgos en una PTAR consisten en:

- Daños físicos
- Contaminaciones corporales con riesgos de infecciones corporales

- Peligros ocasionados por gases nocivos o vapores venenosos y la falta de oxígeno.

Estos riesgos son, en algunos casos, inherentes al diseño, de manera que una vez reconocidos pueden corregirse fácilmente; al menos, protegerse mediante advertencias y procedimientos adecuados y sencillos de seguridad.

- Prevención de daños físicos: empieza por el buen orden interno; las herramientas y objetos empleados en el mantenimiento deben guardarse en un lugar adecuado; además, deben permanecer limpios durante su almacenaje. Deben proveerse de señales de advertencia.
- Vestimenta y accesorios: deben usarse guantes de hule porque proporcionan una buena protección para las manos. Se deben de utilizar botas de hule como protección contra la humedad y la contaminación. Llevar ropa de trabajo y acostumbrar al personal a lavarse con frecuencia, así como cambiarse la ropa luego de efectuar cualquier mantenimiento o inspección en la planta de tratamiento de aguas residuales.

El equipo para operación y mantenimiento, así como el equipo de protección personal (EPP) recomendable para el operador de la planta de tratamiento consiste en:

- Guantes
- Mascarillas
- Botas de hule
- Gorra o sombrero

- Palas
- Azadones
- Cedazos
- Carretas de mano
- Alcohol y jabón desinfectante
- Ropa exclusivamente para el trabajo
- Rastrillo
- Metro
- Manguera
- Escobas
- Cuaderno de registro de monitoreo y extracción de lodos del tanque
- Limas
- Alicates, tenazas, desarmadores, cangrejos
- Cubetas plásticas.

Dentro de los hábitos personales necesarios para el personal y visitantes de la PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán, se incluyen:

- No fumar cuando se destape las tapaderas de la planta de tratamiento, para evitar explosiones por los gases que emanan de la misma.
- En el periodo de inspección o mantenimiento, lavar las manos antes de comer o beber. La mayoría de las infecciones en personal de mantenimiento de plantas de tratamiento llegan a través de la vía oral, nasal o por los ojos y oídos.
- De preferencia el personal que se encargue del mantenimiento e inspección de la planta de tratamiento, debe de estar vacunado contra

enfermedades como la hepatitis A, B y C, tétanos, entre otras, que puedan adquirir en el proceso.

- Periódicamente, todos los operadores de la planta de tratamiento deberán ser sometidos a análisis parasitológico e inmunizados contra enfermedades tales como fiebre tifoidea, hepatitis y tétanos.

Los principales gases presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales son una mezcla de gases y no uno solo gas, originados por la descomposición de la materia orgánica. En realidad, son gases que proceden de los lodos de las aguas residuales que contiene alta proporción de bióxido de carbono y cantidades variables de metano, hidrógeno, ácido sulfhídrico y una cantidad pequeña de oxígeno.

El peligro consiste en que se forma una mezcla explosiva con el metano y el oxígeno; o con más frecuencia es una deficiencia de oxígeno.

Dentro del programa de señalización en la PTAR, se deben incluir las siguientes actividades:

- Colocar letreros y señales para la prevención de accidentes en las diferentes vías en la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Colocar cercas de protección en toda la ruta de visita.
- Prevenir la instalación de extintores contra incendios en las oficinas.

Dentro de las prohibiciones inherentes a la planta de tratamiento de aguas residuales, están:

- Destapar las tapaderas de registro de la planta de tratamiento de aguas residuales, pues es una planta anaeróbica. Se pueden destapar solamente para llevar a cabo los procedimientos de mantenimiento previamente programados.
- Que persona o personas que no están designadas y capacitadas para la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, maniobren, manipulen o efectúen procedimientos ajenos a los descritos, para no poner en riesgo a esta persona o personas y el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

4.6. Resultados esperados del tratamiento de aguas residuales

El objetivo del sistema es llevar a cabo, mediante procesos biológicos, la eliminación de microorganismos patógenos del agua residual vertida al sistema de drenajes y devolverla al sistema general con un tratamiento anaeróbico y de filtración para que continúe su ciclo natural de purificación.

A continuación se presentan los principales resultados esperados con la implementación de la propuesta:

- Contribuir al cuidado del medio ambiente en Guatemala.
- Reducir los niveles de contaminación y mejorar la calidad del río Michatoya.

- Cumplir con el reglamento de las Descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.
- Evitar la contaminación de cuerpos de aguas superficiales debido al vertimiento directo de las aguas residuales.
- Conservar o emplear de manera más racional los recursos de agua dulce.

5. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

5.1. Operación de puesta en marcha

La operación de la PTAR consiste en el tratamiento de las aguas residuales del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán por medio de un sistema anaerobio. El uso de la tecnología anaerobia implica dos etapas fundamentales: el arranque y operación del sistema.

Por ser un edificio que está en funcionamiento y por tratarse de servicios de salud, al concluir la construcción de la planta de tratamiento se lleva a cabo la interconexión inmediata de la red de drenajes del servicio de salud a la PTAR.

Antes del arranque el sistema de tratamiento debe ser sometido a pruebas de carácter constructivo, de impermeabilidad y funcionamiento hidráulico.

El arranque de un reactor anaerobio consiste en mantener las condiciones adecuadas para el crecimiento de la biomasa. Los nutrientes necesarios son lo más importante para ello. Esto último puede variar mucho, dependiendo de las características del agua residual generada en el hospital. Normalmente, la concentración de estos es muy baja, particularmente para el desarrollo de la biomasa anaerobia, por lo que el crecimiento resulta muy lento, lo que produce un arranque muy prolongado.

La duración de la etapa de arranque dependerá del tiempo que se requiera para obtener una calidad constante del efluente y una masa de lodo suficiente, que no varíe cualitativamente con el tiempo. Para el óptimo desarrollo de la digestión anaerobia, el sistema debe ser selectivo para generar una biomasa con buenas características de sedimentación, principalmente en la forma de conglomerados.

Figura 22. Factores que afectan el arranque y operación de un reactor anaerobio



Fuente: RODRÍGUEZ V., Jenny Alexandra. *Arranque y operación de reactores anaerobios*. Universidad el Valle. Cali – Colombia. p. 3.

A continuación se presentan aspectos relacionados con el arranque y puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas residuales del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán, con la finalidad de mejorar su comportamiento y desempeño.

5.1.1. Inspección preliminar

Su objetivo es evaluar el estado de las obras, con énfasis en los siguientes aspectos:

- Presencia visual de daños.
- Funcionamiento de válvulas, compuertas y equipos.
- Existencia de materiales y personal para la operación del sistema.

Se espera que este documento sea de ayuda al personal técnico que se encargue de controlar y atender las diferentes instalaciones del sistema de tratamiento de aguas residuales del hospital. El personal de la PTAR debe estar conformado por un área administrativa y otra de operación y mantenimiento.

- El jefe de la planta tendrá a su cargo la planta de tratamiento, así como la coordinación de los operadores encargados de la operación y mantenimiento
- Los operadores son los encargados de realizar las tareas de control de la planta de tratamiento; el operador debe llevar un diario de la operación, en el cual anota por separado los trabajos rutinarios efectuados, las medidas de mantenimiento, los resultados obtenidos del tratamiento y los sucesos específicos.

Si las unidades de tratamiento funcionan de acuerdo con la carga orgánica y bacteriológica considerada en el proyecto, la operación se reducirá a un control periódico de la eficiencia del proceso.

La PTAR debe contar con un muro o cerco perimetral que impida el acceso a particulares y delimite su área; es necesario contar con la herramienta adecuada para una buena operación y mantenimiento.

5.1.2. Operaciones iniciales

Permiten contar con un análisis del sistema que facilite la realización de correcciones a tiempo y el mejoramiento del funcionamiento de las unidades que operan en la planta de tratamiento. Antes del llenado de la planta, deben efectuarse las siguientes tareas, que pueden variar de acuerdo con el tipo de planta:

- Limpieza general de las estructuras: la PTAR debe quedar libre de polvo, residuos de construcción y cualquier otra impureza que signifique peligro de contaminación.
- Medición de los parámetros básicos para el control de los procesos, tales como pH, turbiedad, color, alcalinidad y caudal de operación.
- Colocar válvulas en posición de llenado: ingresos y salidas abiertas, desagües cerrados.

En esta etapa el funcionamiento del digestor, se evalúa por medio del análisis de diversos parámetros medidos en el influente (lodo primario y secundario), efluente o sobrenadante y en la cama de lodos del digestor, así como las natas formadas en el reactor.

- Revisar el manual donde se presentan las bases y procedimientos para la operación del sistema de tratamiento.
- Revisar la documentación relacionada con el diseño de la planta de tratamiento implementada, a través de la identificación de variables.

Una vez concluido el proceso de montaje se inicia el arranque de la planta de tratamiento con la aclimatación del lodo biológico. Para ello se alimenta el tanque anaerobio con cargas de lodo, provenientes del sedimentador.

En el transcurso de fase de estabilización inicial de la planta de tratamiento, se debe tomar muestras para evaluar los afluentes y efluentes.

5.1.3. Llenado de la planta

El arranque de los sistemas anaerobios consiste en hacer ingresar el agua residual al sistema y procurar mantener las condiciones idóneas para el desarrollo de la biomasa anaerobia. La alimentación de agua cruda se debe realizar de forma progresiva en cuanto a tasa y tiempo de alimentación, hasta que el proceso sea continuo y se alcancen los caudales de operación.

Esta operación depende de los procesos que componen la planta, el procedimiento propuesto es el siguiente:

- Abrir la válvula de ingreso de agua cruda a la planta.
- Llenar la trampa de grasas.
- Llenar los clarificadores e iniciar la operación eliminando la producción al desagüe hasta que se obtenga la calidad de agua deseada.
- Controlar la calidad del agua.

Luego del llenado con agua residual al sistema de manera continua, se deben realizar los análisis correspondientes a los diferentes parámetros, con una frecuencia de acuerdo a lo establecido. Se deben identificar los puntos, el período e intervalo de muestreo; esta caracterización se lleva a cabo en el transcurso del primer mes luego del arranque para monitorear el funcionamiento de la planta en la fase de estabilización inicial.

5.2. Operación normal

La operación del sistema se inicia una vez superada la etapa de arranque, cuando se alcanzan las condiciones de diseño de carga orgánica e hidráulica y la eficiencia de remoción de materia orgánica proyectada. Durante la operación del reactor, se debe garantizar el funcionamiento continuo y adecuado del sistema hidráulico (tiempo de retención hidráulica dentro del reactor) y del proceso biológico respectivo. La operación deberá contemplar un trabajo rutinario diario o semanal, y trabajos ocasionales.

Una vez concluidas las operaciones de puesta en marcha, la planta entra en la etapa denominada de operación normal. Se considera que el sistema de tratamiento se encuentra en operación normal cuando está ingresando el caudal para el cual fue diseñada y egresando la calidad de agua requerida.

La operación normal incluye una serie de actividades de tipo rutinario. A continuación se indican las actividades de operación normal:

- Medición del caudal.
- Medición de parámetros de calidad del agua cruda: turbiedad, color, pH y alcalinidad.
- Limpieza en el canal de rejillas.
- Limpieza en trampa de grasas.
- Limpieza de las obras complementarias y mantenimiento de áreas verdes.
- Control de calidad.

En general, la operación normal incluye cualquier actividad que no provoque la suspensión parcial o temporal de la planta. Para conocer el funcionamiento y por ende las eficiencias de remoción y funcionamiento biológico de la unidad de tratamiento, es necesario el muestreo rutinario del afluente y efluente del reactor.

Los parámetros importantes para la evaluación del comportamiento del reactor son los siguientes: DQO, DBO, ST, SST, SSV, alcalinidad, pH, temperatura, nitrógeno total y amoniacal, fosfatos, sulfatos y ácidos grasos volátiles.

Una vez que entre en funcionamiento la PTAR se generarán los siguientes desechos

- Residuos retenidos en la rejilla, correspondientes a sólidos de gran tamaño.
- Residuos del proceso de sedimentación correspondientes a sólidos de menor tamaño.
- Espumas y grasas.
- Residuos de laboratorio.

5.3. Inspección y evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales

Tres factores deben tenerse en cuenta para el debido mantenimiento de la PTAR: diseño, construcción y operación. Para poder realizar el mantenimiento del reactor se debe considerar una obra de desviación o bypass. Las actividades de inspección y evaluación de la planta, son planificadas y supervisadas por el jefe de la planta; a su cargo algunas de las actividades las realiza el inspección y evaluación de la planta.

Se debe inspeccionar periódicamente y de manera obligatoria cada 6 meses, el agua que está llegando al clorinador; esta debe de ser bastante clara.

La presencia de turbiedad en el líquido efluente y/o con la presencia de pequeñas partículas de sólidos sedimentables es un síntoma que la nata o los lodos han sobrepasado los límites permisibles y se está afectando severamente el sistema, por lo que debe de programarse de inmediato su limpieza, ya que el volumen ocupado por la nata y el lodo ha hecho disminuir el período de retención del agua dentro del tanque séptico, conduciendo a una menor eficiencia en la remoción de materia orgánica y contaminantes.

El Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) es una unidad de tratamiento constituida por un digestor, un sedimentador y una cámara de gas. Como resultado de la remoción de contaminantes del agua residual, se generan diferentes subproductos, principalmente basuras, arenas y lodos.

Entre las actividades rutinarias que debe realizar el operador están:

- Remover la arena que se retiene en el desarenador, realizar el mantenimiento en general.
- Remover las natas, espumas, grasas y aceites que se acumulen en la parte superior del sedimentador primario utilizando un cedazo. Estos materiales deben almacenarse y disponerse adecuadamente para evitar los malos olores como producto de su descomposición.
- Las estructuras de la planta como cajas, canales, tanques deben desaguarse por lo menos una vez al año para revisarlos y aplicarles una capa protectora.

- La principal emisión en la operación de la PTAR será la presencia de olores, para lo cual se deben definir acciones para su control, como adquirir un medidor portátil de metano y oxígeno.
- La tubería de la planta se debe pintar con los colores adecuados.
- Colocar techo a los lechos de secado para que estos cumplan su función de secar los lodos.

5.3.1. Inspección del sedimentador

Este es el principal elemento del sistema, se conoce también como tanque anaeróbico o reactor anaeróbico, porque es aquí en donde se lleva a cabo la descomposición de la materia orgánica contenida en las partículas en suspensión, por medio de acción bacteriana lo cual da como resultado la emisión de gases y la precipitación de lodos.

La eficiencia del sedimentador determina la frecuencia de una vaciada completa y tediosa del sistema y de su adecuada operación depende la calidad y el factor de crecimiento del lodo.

5.3.1.1. Evaluación de la presencia de nata

La digestión anaeróbica por ser un proceso biológico, requiere para su operación, de un control físico-químico adecuado, con el fin de evaluar el comportamiento y aclimatación de las bacterias en cuanto a la remoción de la demanda química biodegradable contenida en el agua residual.

Las natas son uno de los subproductos generados en el tratamiento de lodos, siendo menos significativa en aguas residuales. Se definen como una película de material flotante que se desarrolla en la superficie de los reactores. Las condiciones de funcionamiento del reactor como el caudal y la agitación, influyen en la formación de espumas y natas.

Ocurren durante el arranque, cuando hay una sobrecarga o cuando se desestabiliza el reactor. Las espumas en el digestor pueden originarse por: concentración alta de grasas, inadecuado mezclado, excesivo mezclado, porcentaje alto de sólidos de desecho, sólidos espesados por flotación de aire disuelto, grandes fluctuaciones de temperatura en el reactor, contenido alto de dióxido de carbono, alta alcalinidad, baja concentración de sólidos en el afluente, contenido alto de sólidos en el afluente.

El espesor de la capa de nata debe medirse con un bastón equipo apropiado, si la acumulación de natas excede lo establecido, se deben de retirar y disponer de acuerdo a lo establecido, actividades que se deben de realizar con las medidas de higiene y seguridad adecuadas. La nata se forma sobre el nivel del agua en la cámara 1 Sedimentador.

Su presencia se puede medir por medio de una regla de madera de 1" x 2" x 6' a la que en uno de sus extremos se le coloca una tabla de 1" x 6" x 6", para forma una escuadra o L. Esta regla se fuerza a través de la capa de nata hasta ver que ingresa la mitad de la regla en el agua y se gira la regla 180° para lograr que la tabla quede por debajo de la nata y no en la misma posición donde entro, pues esta nata ya está removida.

Se podrá determinar el espesor la nata por medio de la resistencia natural que ofrece la nata al querer subir la regla, dependiendo de la resistencia se podrá, por lógica, determinar el espesor de la misma. Para el monitoreo de las natas se debe evaluar su altura, sólidos suspendidos, grasas y aceites, nitrógeno total.

5.3.1.2. Evaluación de la cantidad de lodo

Los lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales dependen del tipo de planta de tratamiento y de su operación; la producción de lodo en un RAFA es entre 5-10 veces menor que en un sistema aerobio.

Para determinar el espesor del lodo, se realiza por medio de una regla de 2" x 2" X 8', la que se forra en sus cuatro lados con tela de fieltro; la regla se hace descender hasta el fondo del tanque, previo haber ingresado un tubo de PVC de 3" con una longitud de por lo menos 1,50 m con un tapón de madera u otro material en el extremo en contacto con el agua que sea capaz de ser halado hacia afuera de la planta de tratamiento por medio de una pita o alambre.

La idea es que el tubo de PVC pase la capa de nata y no obstruya o perjudique la medición de lodos al manchar la tela de fieltro. Ya habiendo ingresado el tubo de PVC a una profundidad de por lo menos 1,50 m, se extrae el tapón y se procede a hacer ingresar la regla forrada de tela de fieltro dentro del tubo de PVC, hasta que tope en el fondo del tanque.

Luego se mantiene la regla en esa posición por unos 3 minutos, se retira cuidadosamente y muy despacio para permitir que el espesor de la capa de lodos quede marcado en la tela de fieltro. Luego de haber extraído la regla, se

debe de retirar el tubo de PVC, no se debe olvidar este paso, para evitar dejar este elemento dentro del tanque.

Una norma sencilla consiste en extraer los lodos cuando estos lleguen a las dos terceras partes de la distancia total entre el nivel del líquido y el fondo (para esto es necesario ver el corte de la planta de tratamiento en los planos, para saber la altura), esto sucederá entre los 3 y 5 años de funcionamiento. La planta de tratamiento de aguas residuales seguirá funcionando incluso cuando este casi llena de lodos.

En ese caso, el líquido entrante abre un canal a través de los lodos y puede atravesar la cámara 1 Sedimentador en unos minutos en lugar de permanecer en la cámara durante el tiempo necesario, por consiguiente las aguas residuales no saldrán tratadas.

Con estas dos simples consideraciones o procedimientos, se podrá determinar el momento, ya sea para retirar el excedente de nata ubicada en la superficie del tanque o el retiro de lodos

Su muestreo se debe realizar para estimar la cantidad de lodo en el reactor y para evaluar su calidad; para poder disponerlos, es necesario estabilizarlos y secarlos para reducir organismos patógenos, olores, la atracción de vectores y su volumen.

- Los lodos primarios se producen en la sedimentación primaria, en la cual se remueven sólidos sedimentables. La cantidad depende de la carga superficial o tiempo hidráulico de retención; tiene del 91 al 95 % de humedad.

- Los lodos secundarios se producen en procesos de tratamiento biológico, también incluyen la materia particulada que permanece en el agua después de la sedimentación primaria y que se incorpora en la biomasa. La cantidad producida depende de varios factores: eficiencia del tratamiento primario, relación de SST a DBO, cantidad de sustrato soluble, remoción de nutrientes y criterios de diseño del tratamiento; tiene del 98,5 al 99,5 % de humedad.

La PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán cuenta con dispositivos de muestreo y evacuación de lodos (válvulas y tuberías); el proceso de retirar los lodos se conoce como purga del sistema; el reactor anaerobio de flujo ascendente se purgará cuando se encuentre saturado, esto lo indicará la excesiva salida de lodos en el área de efluencia.

Se recomienda hacer perfiles de lodos en altura con una rutina, semanal o quincenal, de tal forma que se mantenga constante la cantidad de lodo en el reactor; se sugiere muestrear a 1 y 2 metros medidos desde el fondo del reactor. Para el control y monitoreo de los lodos del digestor, se deben evaluar los sólidos suspendidos, pH, relación de alcalinidades, IVL y velocidad de sedimentación.

5.3.1.3. Procedimiento para el retiro de la nata

Si la acumulación de natas es apreciable, se deben de retirar con el equipo descrito anteriormente; luego se deben de disponer de acuerdo a lo establecido. Estas actividades se deben de realizar con las medidas de higiene y seguridad adecuadas, incluido el equipo de protección personal.

El primer paso que se debe de llevar a cabo al determinar en el clorinador que agua está llegando con turbiedad o con partículas sedimentables, es retirar con un recipiente dotado de un mango largo la mayor cantidad de nata posible, luego esperar 24 horas para verificar si el agua está llegando al clorinador de forma lo suficientemente clara.

De ser así con el retiro de la nata fue suficiente; continua saliendo agua turbia o partículas sedimentables y/o si se determina que el espesor de los lodos es muy elevado y se hace necesario su retiro, para facilitar el retiro de la nata, poco antes del retiro del lodo, se esparce en su superficie cal hidratada o ceniza vegetal y luego, con la ayuda de una regla de madera se procede a mezclarlo. Esto inducirá a que gran parte de la espuma se precipite e ingrese al lodo facilitando de esta forma su retiro.

Siendo las espumas y natas un problema muy extenso en los bioprocesos, los métodos adoptados para combatirlo son tan variables como los procesos que las causan. El rompimiento mecánico de la espuma y natas utilizando eyectores, inyectoros y orificios, ayuda a su manejo; los agentes químicos pueden prevenir la formación de la espuma o nata así como destruyen la espuma existente.

5.3.1.4. Procedimiento para el retiro de lodos

El proceso de retirar los lodos se conoce como purga del sistema, la que se realiza en forma periódica (se realizará aproximadamente tres años después de la fecha de arranque); consiste en la extracción de lodos del registro del RAFA.

En el diseño del reactor se incluyen un grupo de válvulas y tuberías que permitan el muestreo y descarga de los sólidos presentes en el reactor; para poder chequear el nivel del manto de lodos es conveniente tener distintas tomas a diferentes alturas.

Si el resultado de la evaluación determina que se debe de retirar el exceso de lodos, se debe tener en cuenta que es necesario dejar por lo menos 10 cm de espesor de lodos, en el fondo del tanque, pues estos lodos se les conoce como lodos activados, o sea que cuentan con suficiente bacteria anaeróbica para poder iniciar un nuevo proceso de cultivo y tratamiento de las aguas residuales.

La forma de poder determinar el espesor de los 10 cm, es el mismo, sumergiendo la regla forrada con tela de fieltro para determinar este espesor, la cantidad de veces que sea necesario, mientras se está bombeando el lodo hacia afuera.

El dispositivo más empleado para el retiro de lodos es el carro cisterna equipado con bomba de vacío y manguera, o por medio de una bomba que descargue los lodos a un recipiente como toneles o aun camión con tanque. Los lodos extraídos deben ser dispuestos en un una planta especializada para estos o ponerlos a secar y luego enterrarlos convenientemente en zanjas.

Los lodos ya secos también se pueden utilizar como mejorador de suelos, como abono. La persona encargada de la operación y mantenimiento, debe emplear guantes y botas de hule.

El método de lechos de secado es el sistema más empleado de deshidratación de lodos por su bajo costo, escaso mantenimiento que precisan, y el elevado contenido en sólidos del producto final. Una vez seco, el lodo se retirará y se dispondrá en el relleno sanitario.

En Guatemala el manejo de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales no es el adecuado, por lo general no son tratados, sino descargados en los sistemas de alcantarillado, depositados en terrenos o enviados a rellenos sanitarios y tiraderos. Recomendaciones relacionadas con el manejo de lodos:

- Mantener las medidas de higiene y seguridad adecuadas, incluido el uso de equipo de protección personal.
- Se recomienda realizar estas actividades cuando se tenga temporada seca y cuando la entrada de agua residual sea mínima.
- Antes de poder aprovechar o disponer los lodos, éstos deben ser estabilizados para reducir la atracción de vectores, los olores y los riesgos a la salud. Además, los lodos deben ser deshidratados para reducir su volumen.
- Es necesario contar con un contenedor para almacenar los lodos temporalmente, o llevarlos a disponer a algún sitio autorizado para esto.

5.3.2. Inspección del filtro ascendente

El objetivo principal de la inspección del filtro anaerobio de flujo ascendente (conocido como filtro percolador), es alcanzar su estado estable, y determinar las variables de operación.

Las aguas provenientes de la cámara 1, sedimentador, aún no son aguas claras porque persiste la permanencia de partículas en suspensión que no tienen contenido orgánico (son arenas) y contiene organismos patógenos que requieren ser filtrados para devolver el agua a su ciclo natural.

Para ello las aguas se conducen hacia una unidad que cuenta con un lecho de piedra volcánica con muchas superficies de contacto, en la cual se retienen las partículas, siguiendo el agua, por gravedad hacia la caja que contiene el clorinador.

Tanto la cámara 1, sedimentador (tanque anaeróbico), como la cámara 2, filtro ascendente (filtro percolador) se comunican por medio de una cámara que su función es la de recibir por gravedad el rebalse de las aguas provenientes de la cámara 1, desarenador (tanque anaeróbico) y por bajo, por medio de tuberías ingresarlas a la cámara 2 filtro ascendente (filtro percolador).

La única recomendación es vigilar luego de un período de 3 a 5 años la colmatación o acumulación de sedimentos sobre la roca volcánica que sirve de filtro en esta cámara, y cuando este período se cumpla, requerirá extraer la piedra volcánica para limpiarla con un lavado de agua a presión, piedra por piedra, sin uso de químico alguno, o su sustitución total.

5.3.3. Inspección del clorinador

La desinfección de los procesos de agua servidas representa el proceso más importante usado en la obtención de agua de calidad adecuada, la ventaja del sistema de desinfección por cloración es su bajo costo respecto de la desinfección con ozono y la radiación UV. El clorinador, sirve para eliminar la contaminación microbiana, es de gran importancia que se tomen precauciones para asegurar la aplicación continua de cloro al agua que se va a tratar y tener especial cuidado con las fugas de cloro, ya que su uso inadecuado puede ser nocivo a la salud

Es una unidad de concreto armado con una caja perforada, donde se coloca periódicamente una pastilla de cloro, estas pastillas o tabletas son un sanitizante oxidante estabilizado de alta concentración y lenta disolución, es utilizado en piscinas donde garantiza agua limpia a los usuarios las 24 horas destruyendo algas, bacterias y eliminando los contaminantes orgánicos, por lo que su uso en las plantas de tratamiento es efectivo.

El sistema de cloración tiene como elemento principal el clorador de pastillas, su operación es automática, por lo que únicamente requiere chequear la existencia de pastillas, así mismo es conveniente chequear la cortina difusora (base perforada), al momento de que sea necesario colocar una nueva pastilla, para verificar que no hay materiales que impidan la circulación libre. En la caja para la colocación de las pastillas, pueden existir restos del proceso por lo que es necesario que al colocar una nueva pastilla siempre se limpie el vertedero del clorinador.

Luego de realizar el retiro de las natas y lodos de la PTAR, se debe proceder a sellar nuevamente todas las tapaderas, colocándolas en su lugar y sellando la unión entre las tapaderas y planta de tratamiento con sabieta, para evitar el ingreso de oxígeno y la salida de malos olores por el proceso de reinicio del nuevo ciclo.

6. SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LAS MEJORAS IMPLEMENTADAS

6.1. Análisis fisicoquímico periódico del agua tratada

El Reglamento de Descargas y Reusó de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Decreto 236 – 2006, requiere 20 parámetros de calidad de agua para determinar las características del efluente, incluyen un rango de parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

Durante la toma de muestras, es importante el proceso de control y vigilancia, preservación y análisis, esto es esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta el reporte de los resultados; incluye la actividad de seguir o monitorear las condiciones de toma de muestra, preservación, codificación, transporte y su posterior análisis.

La Unidad de Gestión Ambiental y Social de la ESSAP será la encargada de llevar el registro del monitoreo realizado, sistematizarlos y evaluarlos; se realizarán muestreos para determinación de la calidad de las aguas, la toma de muestras se realizará según las especificaciones establecidas en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Métodos Normalizados para Análisis de Agua Potable y Residual).

El Programa de Monitoreo de Operación de la PTAR consiste en el control de la calidad de los afluentes (aguas residuales de entrada) y efluentes (aguas residuales de salida, una vez tratadas) de la planta, así como de las aguas residuales durante el proceso de tratamiento.

Se realizarán muestreos para evaluar la calidad de las aguas residuales de la entrada y salida de la PTAR, así como en el proceso de tratamiento. Los muestreos se harán según las especificaciones técnicas establecidas para cada tipo de parámetro de control a analizar.

Durante la toma de muestras, es necesario el registro de la información pertinente a observaciones, como la siguiente: punto de muestreo, las coordenadas del lugar, tipo de muestra, se identifica el proceso que produce el efluente, número y volumen de muestra tomados; descripción del punto y método de muestreo; fecha y hora de recolección; método de transporte de la muestra; se tomaron fotografías del sitio de muestreo; observaciones y mediciones de campo.

Es importante realizar un análisis de lodos y mejorar el lugar de disposición de los mismos cuando se realiza el mantenimiento a la planta. El análisis debe ser siempre apegado al “Reglamento de Descarga y Reusó de Agua Residual y Disposición de Lodos, Decreto 236-2006”.

6.2. Capacitaciones al personal

Para mantener la PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán en óptimas condiciones de operación, se requiere contar con personal capacitado que cubra las operaciones de mantenimiento preventivo y operativo del sistema, lo que asegurará un control adecuado del proceso y un buen funcionamiento del equipo.

El presente plan de capacitación es de aplicación para todo el personal que trabaja en el Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán, asociado con la operación, control y mantenimiento del sistema de tratamiento. Con el

objetivo de proporcionar las herramientas teóricas y prácticas para el control de la operación, mantenimiento, evaluación y el muestreo de plantas de tratamiento, para llevar a cabo una operación más eficiente de la misma se deben realizar capacitaciones al personal responsable del manejo de la PTAR. Se recomienda el mantenimiento de un programa de capacitación continua.

La capacitación teórica-práctica de los operadores de la PTAR, promueve y refuerza un control adecuado de los sistemas de tratamiento. Para mantener la PTAR en óptimas condiciones de operación, es necesario contar con personal capacitado que cubra las operaciones de mantenimiento preventivo y operativo del sistema.

Se propone el curso-taller “Operación y mantenimiento de la PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán”, con una duración de 40 horas como mínimo, con actividades teóricas y prácticas. Con el objetivo de proporcionar las herramientas teóricas y prácticas para el control de la operación, mantenimiento, evaluación y el muestreo de la PTAR, para llevar a cabo una operación más eficiente de la misma.

Para su implementación y desarrollo, será necesario contar con recursos humanos y materiales (infraestructura, mobiliario, equipo y documentos técnico educativos, entre otros). La exposición teórica debe reforzarse con experiencias en campo así como diferentes dinámicas de trabajo

6.3. Identificación de nuevas problemáticas

Se deben de proponer un conjunto de medidas y procedimientos que aseguren las condiciones básicas necesarias en la operación de la PTAR, que permitan a los operarios realizar una labor más segura y eficiente, reduciendo

los riesgos de accidentes, proveyéndoles de equipos de protección personal y capacitándolos en procedimientos y hábitos de seguridad. Asimismo, que puedan tener acceso a los servicios de higiene y médicos esenciales para el ejercicio de sus funciones

Una vez que la PTAR entre en operación, pueden generarse reclamos y conflictos a consecuencia de fallas y/o averías y mantenimientos periódicos de las instalaciones y otros que podrían generar olores, presencia de gases, de ruidos, entre otros.

6.4. Operación especial o eventual

Durante la operación del reactor, se debe garantizar el funcionamiento continuo y adecuado del sistema hidráulico y del proceso biológico respectivo. El monitoreo de las actividades de implementación de la PTAR es necesario para asegurar que se empleen los métodos adecuados y que se cumpla con los requerimientos específicos durante la construcción y operación del sistema

En el caso del mantenimiento del reactor, éste se reduce a vaciar parcialmente el reactor y remover el material sólido del fondo del reactor cuando se obstruyen las salidas de la tubería de alimentación. Se estima que esta labor debe hacerse una vez cada cinco años, dependiendo de la eficiencia del desarenador.

En ningún caso se puede producir el vaciado total, ya que de ser así se requeriría una nueva puesta en marcha o arranque del sistema, lo cual involucraría mayor tiempo de lo requerido.

Las operaciones especiales o eventuales, se producen como consecuencia de actividades de mantenimiento, daños menores, fallas de energía de corta duración y otras causas que impliquen una salida de operación total o parcial de la planta, sin que se presenten daños graves.

A continuación se incluyen algunos ejemplos de este tipo de operación.

- Parada o suspensión de la operación de la planta: normalmente una parada de la planta se programa para vaciar las unidades y ejecutar reparaciones que deben hacerse en seco. Con frecuencia las paradas se programan durante la noche o en días festivos, para evitar incomodidades al hacer la operación.
- Operación de emergencia: ocurre por fuerza mayor y se presenta en forma imprevista a causa de fallas graves o desastres.
- Fallas en estructuras y equipos esenciales: el operador debe dar aviso al supervisor apenas se produzca la falla. Si se produce una falla en la tubería de llegada la planta debe salir de operación obligatoriamente.

Si el daño se presenta en una estructura, se aislará para proceder a drenarla y repararla. Una vez solucionados los daños, la planta se pondrá en marcha de acuerdo con el procedimiento indicado.

- Terremotos: en lugares de alto riesgo sísmico, como la zona donde se ubica el Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán, las estructuras de la planta deben ser antisísmicas. De acuerdo con la intensidad de un sismo, puede producirse falla de energía o daño en tuberías. Pasado el

movimiento sísmico, se evaluarán los daños y se programarán las reparaciones.

- Inundaciones: se presentan con frecuencia por rotura de tuberías, rebose de un tanque o desborde de ríos. Se debe aislar la tubería o disminuir el caudal de tratamiento.

En el caso de inundaciones mayores (desborde de ríos), el ingeniero encargado deberá evaluar los daños mediante una inspección sanitaria y tomar las medidas del caso.

6.5. Mantenimiento de tuberías y obras accesorias

Las instalaciones de la PTAR, son el conjunto de elementos que integran la infraestructura física, como las estructuras, instalaciones eléctricas, instalaciones sanitarias e instalaciones mecánicas y especiales (vapor, oxígeno, gases especiales y equipos de apoyo: grupo electrógeno, motobombas).

Para ejecutar el programa de mantenimiento preventivo, se debe contar con un sistema de información de control, que permita seguir el comportamiento de cada elemento componente de la PTAR. Los registros oportunos y completos son necesarios para el control de los procedimientos y para la interpretación de los resultados de las aguas residuales.

Se debe evaluar el estado actual de la infraestructura física de la PTAR, ya que esto permite determinar en forma cualitativa y cuantitativa su estado real de conservación, facilitando la formulación de los presupuestos y la toma de decisiones para su mantenimiento preventivo y correctivo.

Esta actividad se reduce en la mayor parte del tiempo, a la limpieza hidráulica de las tuberías para la remoción de sólidos que eventualmente ingresen a la red de alcantarillado sanitario. El fontanero deberá realizar inspecciones periódicas de la tubería, como mínimo cada 6 meses. Si en dicha inspección se identifican problemas especiales, se procederá a corregir las causas que los produzcan.

En caso de obstrucciones y acumulación de sólidos, la limpieza se hará con agua o con implementos mecánicos desde el accesorio que permita la limpieza correspondiente.

6.6. Control de conexiones ilícitas

Consiste en el control de las posibles conexiones ilícitas que se pudieran dar; debido a la ubicación y características de la PTAR del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán, las conexiones ilícitas serán mínimas

El fontanero deberá poner mucha atención a este componente pues no deberá permitir por ningún motivo la conexión de tuberías de otro sistema de drenaje o de lluvia a la red correspondiente, pues cada una es exclusiva para el diseño señalado.

El fin último de este monitoreo es asegurar que las aguas residuales recibidas en la PTAR posean las características para las cuales el sistema ha sido diseñado

CONCLUSIONES

1. Actualmente la producción de aguas residuales del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatlán representa una amenaza para el medio ambiente y la salud de la población. Las principales causas de la deficiente gestión de dichas aguas son el mal estado de los artefactos sanitarios, lavamanos, fugas en tuberías, la ausencia de un sistema de tratamiento de aguas servidas y las malas prácticas, tanto de los pacientes atendidos como del personal del hospital.
2. Las pruebas de laboratorio realizadas a muestras de las aguas residuales del Hospital reflejaron que los valores de la demanda bioquímica de oxígeno alcanzan hasta los 1 384 miligramos por litro. Se determina que no se cumple con los límites permisibles, establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, Reglamento de las descargas y reúsos de aguas residuales y de la disposición de lodos, ya que dichos límites equivalen a 450 miligramos por litro. Se debe cumplirlos cumplir a más tardar en el año 2020.
3. La concienciación del personal y pacientes sobre el uso racional de agua potable, cambios en los artefactos sanitarios y la implementación de sistemas de detección de fugas contribuirán a mejorar la gestión del recurso hídrico y, por ende, a reducirán el caudal de aguas residuales generado.
4. Se propone la utilización de reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA) ya que realizan procesos de depuración anaeróbica eficientes,

los cuales transforman las sustancias contaminantes en amoníaco, dióxido de carbono, agua y sulfuro de hidrógeno. Da un grado de tratamiento entre el 60 y 90% lo cual reduce considerablemente los impactos negativos al medio ambiente.

5. El sistema anaeróbico es una propuesta con más ventajas con respecto a un sistema aeróbico debido a que requiere menos espacio, representa una menor inversión inicial (hasta de un 50% por m²) y los costos de operación y mantenimiento son menores, porque no requieren un consumo alto de energía eléctrica.
6. La implementación de artefactos sanitarios ahorradores, sistemas de detección de fugas y reparaciones de las tuberías del Hospital Nacional San Juan de Dios de Amantitlán, reducirá los caudales de aguas servidas. Posteriormente se les dará un tratamiento anaeróbico que disminuirá considerablemente los niveles de contaminación, cumpliendo con el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Este cual establece como límite permisible de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) 450 miligramos por litro, el cual debe cumplirse a más tardar el año 2020 y se reduce, para el año 2024, a 200 miligramos por litro.
7. Tomando en cuenta que el ámbito de acción del Ministerio de Salud Pública incluye el desarrollo de programas prioritarios, vigilancia y control de condiciones sanitarias del medio ambiente (deshechos hospitalarios, líquidos y sólidos), es contradictorio que el hospital contribuya con la contaminación. Con el manejo adecuado de los deshechos sólidos, la reducción del caudal de aguas residuales y la implementación de un tratamiento anaeróbico, se logrará reducir los focos de contaminación y evitar la propagación de enfermedades vectoriales e infecciosas.

RECOMENDACIONES

1. Brindar mantenimiento correctivo y preventivo periódicamente a los sistemas de agua potable y drenajes; utilizar dispositivos que disminuyan el consumo de agua potable, implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales y capacitar al personal y pacientes del hospital en el tema del manejo de desechos sólidos y líquidos.
2. Implementar un programa de monitoreo trimestral de las aguas residuales, con el apoyo del Laboratorio Nacional de Salud, en el cual se verifique periódicamente el cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006, Reglamento de las descargas y reúsos de aguas residuales y de la disposición de lodos.
3. Impulsar actividades en donde se propongan cambios en los procesos operativos. Eliminar malas prácticas para lograr una reducción en el consumo de agua e invertir en sistemas de agua potable con tecnología ahorradora (grifos con sensores o de pedal, dispositivos para el control de fugas y artefactos sanitarios ahorradores).
4. Construir un sistema de tratamiento de aguas residuales, con reactores RAFA, ya que realizan procesos de depuración anaeróbica eficientes y disminuyen los agentes contaminantes y patógenos de las aguas servidas.

5. Implementar un sistema de tratamiento de proceso anaeróbico por motivos de espacio, menor inversión, bajos costo de mantenimiento y buenos resultados en el tratamiento.
6. Dar monitoreo, seguimiento y propuestas para la reducción progresiva de los niveles de contaminación.
7. Tomar todas las precauciones necesarias en el manejo de desechos bio-infecciosos propios de un hospital, así como en el descarte de medicamentos vencidos o en mal estado, ya que por negligencias o descuidos estos van a dar a los drenajes, lo cual puede contribuir a la propagación de enfermedades.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO ESTRADA, Alicia Isabel MONGE GUILLÉN, Danilo Gerardo, DEL CID COLINDRES, Erika Paola. *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)*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Guatemala. 2006. p. 179.
2. Gobierno de la República de Guatemala. *Política nacional del agua y su estrategia*. Guatemala mayo 2011. p. 48.
3. *Guía de prevención de la contaminación del recurso hídrico, caracterización y tratamiento de aguas residuales para el sector de hospitales*. Autoridad Nacional del Ambiente. Panamá.
4. LEÓN LEÓN, Mónica Catalina. *Caracterización físico-química, biológica y eco toxicológico del agua residual de un hospital de la ciudad de Cuenca*. Universidad de Cuenca. Facultad de Ciencias Químicas. Maestría en Toxicología Industrial y Ambiental. Ecuador. 2015. p. 253.
5. LIMÓN MACÍAS, Juan Gualberto. *Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso?* Ingeniería Química. Guadalajara, Jalisco, México 2003. p. 45.

6. *Lineamientos sobre el manejo de aguas residuales municipales.* (PNUMA) Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente ISBN No: 92-807-2721-4. 2004. p. 112.
7. Metcalf & Eddy. *Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización.* 3 ed. México: McGraw-Hill, 1996. p. 125.
8. NOYOLA, Adalberto, MORGAN SAGASTUME, Juan Manuel y GUERECA, Patricia Leonor. *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales.* Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ingeniería. México. 2013. p. 140.
9. RODAS RUIZ, Rodolfo Estuardo. *Determinación del costo directo de construcción de una planta de tratamiento con la ayuda de la programación Pert-tiempo.* Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Guatemala. 2003. p. 148.
10. RODRÍGUEZ V., Jenny Alexandra. *Arranque y operación de reactores anaerobios.* Universidad el Valle. Cali – Colombia. p. 14.
11. SOLÍS REYES, Iris Jaqueline. *La necesidad de regular la auditoría ambiental en plantas de tratamiento de aguas residuales en el departamento de Guatemala, específicamente en los municipios de Guatemala, Villa Nueva y San Miguel Petapa.* Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales. Guatemala. 2011. p. 180.

12. Unidad de Planificación Estratégica Departamento de Proyectos.
Evaluación de infraestructura y servicios del Hospital Nacional de Amatlán. Guatemala. s/f.

13. YUSMARY, Bello y RAYMAR, Lara. *Evaluación del arranque y puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas residuales de una empresa tabacalera.* Universidad de Carabobo. Escuela de Ingeniería Química. Rev. Fac. Ing. UCV v.21 n.1 Caracas marzo. 2006. p. 22.

ANEXOS

Anexo 1. Informe análisis de laboratorio aguas residuales Hospital Nacional San Juan De Dios de Amatitlán



LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCION GENERAL DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD
INFORME DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS Y AGUAS



Serie "A"

Nº 0001622

Informe de Análisis Muestra(s) Control de la Unidad de Alimentos

UGCF095
Rev. 2 (1 de 1)
Página 1 de 1

No. del LNS:	ARC15-0029	Marca:	-----
Nombre del Producto:	AGUA RESIDUAL	Tipo de Recipiente:	PLASTICO
Tipo de Muestra:	AGUA RESIDUAL	Lote:	-----
Condición de la Muestra:	APROPIADA	Fecha de Vencimiento:	-----
Remitente:	ING. GUILLERMO ALBERTO MEJIA DUBON	Fecha de Ingreso:	10/11/2015
Procedencia:	UNIDAD DE PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA DEPARTAMENTO DE PROYECTOS. MUESTRA # 2, DESFOGUE DEL DRENAJE AL RIO MICHATOYA. FECHA 10/11/2015 12:40 HORAS.	Fecha de Egreso:	19/11/2015

Resultado de Análisis

ANALISIS	RESULTADO
DQO ⁽¹⁾ :	689 mg/L
DBO ₅ ⁽²⁾ :	400 mg/L
Color ⁽³⁾ :	1 434,7 U Pt-Co*
Sólidos Suspendidos Totales ⁽⁴⁾ :	217 mg/L
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾ :	31 mg/L
Fósforo Total ⁽⁵⁾ :	5,9 mg/L

RESULTADO DE ANALISIS

LNS DGRVCS MSPAS
Guatemala C A

Area Contaminantes de Ambiente y Salud:



Inga. Mónica Méndez de Maldonado
Coordinadora a.i. Unidad de Alimentos

Método:

- ⁽¹⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck. COD Cell Test. 1.14541.0001
⁽²⁾ DBO₅ 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21th. Edition 2005.
⁽³⁾ Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21th. Edition 2005.
⁽⁴⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Nitrogen Cell Test. 1.14537.0001
⁽⁵⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Phosphate Cell Test. 1.14543.0001

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

* Color: Expresado en u. Unidades de Color Aparente en la Escala Platino-Cobalto.
REFERENCIA NORMATIVA: ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006. "REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSOS DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS".

Analista/Supervisor o Coordinador	Código Laboratorio
CCh,ERM,RT/MdeM	CT66-CAS/035

AdeD

ÚLTIMA LÍNEA

"El LNS avala únicamente el contenido del documento original, el manejo de la reproducción es responsabilidad del propietario"

Continuación anexo 1.



REPUBLICA DE GUATEMALA
CENTRO AMERICA

LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCION DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD



Ministerio de Salud Pública
y Asistencia Social

**Informe de Análisis Muestra(s) Control
de la Unidad de Alimentos**

UGCF095
Rev. 2 (1 de 1)
Rev. 2 (1 de 1)

Página 1 de 2

No. del LNS:	ARC15-0021	Marca:	-----
Nombre del Producto:	AGUA RESIDUAL	Tipo de Recipiente:	PLASTICO/VIDRIO
Tipo de Muestra:	AGUA RESIDUAL	Lote:	-----
Condición de la Muestra:	APROPIADA	Fecha de Vencimiento:	-----
Remitente:	DR. RENATO ESTRADA CHINCHILLA	Fecha de Ingreso:	07/07/2015
Procedencia:	DESAGÜE GENERAL QUE DA A LA CALLE DEL CENTRO HOSPITALARIO, HOSPITAL DEPARTAMENTAL DE AMATITLAN	Fecha de Egreso:	04/08/2015

Resultado de Análisis

ANALISIS	RESULTADO
DQO ⁽¹⁾ :	2 305 mg/L
DBO ₅ ⁽²⁾ :	1 384 mg/L
Color ⁽³⁾ :	6 100,9 u Pt-Co*
Sólidos Suspendidos Totales ⁽³⁾ :	12,8 mg/L
Aceites y Grasas ⁽³⁾ :	1 340,4 mg/L
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾ :	4,8 mg/L
Fósforo Total ⁽⁵⁾ :	2,59 mg/L

RESULTADO DE ANALISIS

LNS DGRVCS MSPAS
Guatemala C. A.



[Signature]

Area Contaminantes de Ambiente y Salud:

Licda. Indira Marroquín
Coordinadora Unidad de Alimentos

Método:

- ⁽¹⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck. COD Cell Test. 1.14541.0001
- ⁽²⁾ DBO₅ 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21th. Edition 2005.
- ⁽³⁾ Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21th. Edition 2005.
- ⁽⁴⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Nitrogen Cell Test. 1.14537.0001
- ⁽⁵⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Phosphate Cell Test. 1.14543.0001

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

* Color: Expresado en u. Unidades de Color Verdadero en la Escala Platino-Cobalto.

REFERENCIA NORMATIVA: ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006. "REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSOS DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS".

Analista/Supervisor o Coordinador	Código Laboratorio
CCh,RT/IM	CT66-CAS/004

JMCG/GS

CONTINÚA

"El LNS avala únicamente el contenido del documento original, el manejo de la reproducción es responsabilidad del propietario"

KM. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, BÁRCENA, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C. A.
PBX: 6644-0599 FAX: 6644-0599 ext. 241
E-mail: informacion@lns.gob.gt

Continuación anexo 1.



LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCION DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD



Ministerio de Salud Pública
y Asistencia Social

**Informe de Análisis Muestra(s) Control
de la Unidad de Alimentos**

UGCF095
Rev. 2 (1 de 1)
Página 2 de 2

No. del LNS:	ARC15-0021	Marca:	-----
Nombre del Producto:	AGUA RESIDUAL	Tipo de Recipiente:	VIDRIO
Tipo de Muestra:	AGUA RESIDUAL	Lote:	-----
Condición de la Muestra:	APROPIADA	Fecha de Vencimiento:	-----
Remitente:	DR. RENATO ESTRADA CHINCHILLA	Fecha de Ingreso:	07/07/2015
Procedencia:	HOSPITAL DEPARTAMENTAL DE AMATITLAN	Fecha de Egreso:	04/082015

Resultado de Análisis

LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	COLIFORMES FECALES
DESAGÜE GENERAL QUE DA A LA CALLE	1.1 x 10 ⁸ NMP/100mL

RESULTADO DE ANALISIS
LNS DGRVCS MSPAS
Guatemala, C. A.

Area Microbiología de Alimentos:



[Signature]
Licda. Indira Marroquín
Coordinadora Unidad de Alimentos

Método:

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th. Edition. 9221. Técnica Fermentación de Tubos Múltiples para el Grupo Coliforme.

NMP: Número Más Probable
mL: mililitro

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

REFERENCIA NORMATIVA: ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006. "REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSOS DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS".

Analista/Supervisor o Coordinador	Código Laboratorio
DR/IM	MIALR-MC01-15/119

JMCG/GS

ÚLTIMA LÍNEA

"El LNS avala únicamente el contenido del documento original, el manejo de la reproducción es responsabilidad del propietario"

KM. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, BÁRCENA, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C. A.
PBX: 6644-0599 FAX: 6644-0599 ext. 241
E-mail: informacion@lns.gov.gt

Continuación anexo 1.



Serie "B"

LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCION GENERAL DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD
INFORME DE ANÁLISIS, UNIDAD DE ALIMENTOS



Nº 0005006

**Informe de Análisis Muestra(s) Control
de la Unidad de Alimentos**

UGCF095
Rev. 2 (1 de 1)
Página 1 de 3

No. del LNS:	ARC16-0053	Marca:	-----
Nombre del Producto:	AGUA RESIDUAL	Tipo de Recipiente:	PLASTICO
Tipo de Muestra:	AGUA RESIDUAL	Lote:	-----
Condición de la Muestra:	APROPIADA	Fecha de Vencimiento:	-----
Remitente:	ING. GUILLERMO ALBERTO MEJIA DUBON	Fecha de Ingreso:	26/10/2016
Procedencia:	UNIDAD DE PLANIFICACION ESTRATEGICA, DEPARTAMENTO DE PROYECTOS, GUATEMALA MUESTRA No. 1, CAJA DE REGISTRO CIRUGIA DE HOMBRES, HOSPITAL DE AMATITLAN.	Fecha de Egreso:	07/12/2016

Resultado de Análisis

ANALISIS	RESULTADO
DQO ⁽¹⁾ :	1 650 mg/L
DBO ₅ ⁽²⁾ :	791 mg/L
Color ⁽³⁾ :	2 508,6 U Pt-Co*
Aceites y Grasas ⁽³⁾ :	44,4 mg/L
Sólidos Suspensivos Totales ⁽³⁾ :	540,4 mg/L
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾ :	41,5 mg/L
Fósforo Total ⁽⁵⁾ :	6,45 mg/L
Cromo Hexavalente ⁽⁶⁾ :	6,06 mg/L
Cobre (Cu) ^(3,7,8) :	< 0,35 mg/L
Níquel ^(3,7,8) :	< 0,50 mg/L
Zinc (Zn) ^(3,7,8) :	< 0,35 mg/L
Arsénico (As) ^(3,7,9) :	0,025 mg/L
Cadmio (Cd) ^(3,7,9) :	0,00108 mg/L
Plomo (Pb) ^(3,7,9) :	0,0176 mg/L
Cianuro Total (CN) ⁽¹⁰⁾ :	0,057 mg/L
Mercurio Total (Hg) ^(3,7,11) :	0,0017 mg/L

RESULTADO DE ANALISI
LNS DGRVCS MSPAS
Guatemala, C. A.



Area Contaminantes de Ambiente y Salud:

Inga. Mónica Méndez de Maldonado
Coordinadora a.i. Unidad de Alimentos

Método:

- ⁽¹⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck. COD Cell Test. 1.14541.0001
- ⁽²⁾ DBO₅, 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st. Edition 2005.
- ⁽³⁾ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st. Edition 2005.
- ⁽⁴⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Nitrogen Cell Test. 1.14537.0001
- ⁽⁵⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Phosphate Cell Test. 1.14543.0001
- ⁽⁶⁾ Método Spectroquant Merck. Chromate Cell Test. 1.14552.0001
- ⁽⁷⁾ Mars Xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.
- ⁽⁸⁾ Perkin Elmer Instruments. Analytical Techniques for Flame AAS.
- ⁽⁹⁾ Perkin Elmer Instruments. Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.
- ⁽¹⁰⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Cyanide Cell Test 1.14561.0001
- ⁽¹¹⁾ Perkin Elmer Instruments. Flow Injection Mercury / Hydride Analyses.

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

* Color: Expresado en u. Unidades de Color Aparente en la Escala Platino-Cobalto.
REFERENCIA NORMATIVA: ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006. "REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS".

Analista/Supervisor o Coordinador CCh,RT/MdeM	Código Laboratorio CT66-CAS/130
--	------------------------------------

AdeD

CONTINÚA

"El LNS avala únicamente el contenido del documento original, el manejo de la reproducción es responsabilidad del propietario"

Continuación anexo 1.



Serie "B"

LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCION GENERAL DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD
INFORME DE ANÁLISIS, UNIDAD DE ALIMENTOS



Nº 0005007

**Informe de Análisis Muestra(s) Control
de la Unidad de Alimentos**

UGCF095

Rev. 2 (1 de 1)

Página 2 de 3

No. del LNS:	ARC16-0054	Marca:	-----
Nombre del Producto:	AGUA RESIDUAL	Tipo de Recipiente:	PLASTICO
Tipo de Muestra:	AGUA RESIDUAL	Lote:	-----
Condición de la Muestra:	APROPIADA	Fecha de Vencimiento:	-----
Remitente:	ING. GUILLERMO ALBERTO MEJIA DUBON	Fecha de Ingreso:	26/10/2016
Procedencia:	UNIDAD DE PLANIFICACION ESTRATEGICA, DEPARTAMENTO DE PROYECTOS, GUATEMALA MUESTRA No. 2, CAJA DE REGISTRO CIRUGIA DE MUJERES, HOSPITAL DE AMATITLAN.	Fecha de Egreso:	07/12/2016

Resultado de Análisis

ANALISIS	RESULTADO
DQO ⁽¹⁾ :	901 mg/L
DBO ₅ ⁽²⁾ :	327 mg/L
Color ⁽³⁾ :	975,03 U Pt-Co*
Aceites y Grasas ⁽³⁾ :	77 mg/L
Sólidos Suspendedos Totales ⁽³⁾ :	231,3 mg/L
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾ :	13 mg/L
Fósforo Total ⁽⁵⁾ :	0,05 mg/L
Cromo Hexavalente ⁽⁶⁾ :	0,05 mg/L
Cobre (Cu) ^(3,7,8) :	< 0,35 mg/L
Níquel ^(3,7,8) :	< 0,50 mg/L
Zinc (Zn) ^(3,7,8) :	0,88 mg/L
Arsénico (As) ^(3,7,9) :	0,0236 mg/L
Cadmio (Cd) ^(3,7,9) :	0,0009 mg/L
Plomo (Pb) ^(3,7,9) :	0,0126 mg/L
Cianuro Total (CN) ⁽¹⁰⁾ :	0,035 mg/L
Mercurio Total (Hg) ^(3,7,11) :	< 0,001 mg/L

RESULTADO DE ANALISIS



Area Contaminantes de Ambiente y Salud:

Método:

- ⁽¹⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck. COD Cell Test. 1.14541.0001
- ⁽²⁾ DBO₅, 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st. Edition 2005.
- ⁽³⁾ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st. Edition 2005.
- ⁽⁴⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Nitrogen Cell Test. 1.14537.0001
- ⁽⁵⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Phosphate Cell Test. 1.14543.0001
- ⁽⁶⁾ Método Spectroquant Merck. Chromate Cell Test. 1.14552.0001
- ⁽⁷⁾ Mars Xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.
- ⁽⁸⁾ Perkin Elmer Instruments. Analytical Techniques for Flame AAS.
- ⁽⁹⁾ Perkin Elmer Instruments. Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.
- ⁽¹⁰⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Cyanide Cell Test 1.14561.0001
- ⁽¹¹⁾ Perkin Elmer Instruments. Flow Injection Mercury / Hydride Analyses.

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

* Color: Expresado en u. Unidades de Color Aparente en la Escala Platino-Cobalto.
REFERENCIA NORMATIVA: ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006. "REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS".

Analista/Supervisor o Coordinador	Código Laboratorio
CCh,RT/MdeM	CT66-CAS/131

AdeD

CONTINÚA

"El LNS avala únicamente el contenido del documento original, el manejo de la reproducción es responsabilidad del propietario"

Continuación anexo 1.



Serie "B"

LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCION GENERAL DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD
INFORME DE ANÁLISIS, UNIDAD DE ALIMENTOS



Nº 0005008

**Informe de Análisis Muestra(s) Control
de la Unidad de Alimentos**

UGCF095
Rev.2 (1 de 1)
Página 3 de 3

No. del LNS:	ARC16-0053-0054	Marca:	-----
Nombre del Producto:	AGUA RESIDUAL	Tipo de Recipiente:	FRASCO DE VIDRIO
Tipo de Muestra:	AGUA RESIDUAL	Lote:	-----
Condición de la Muestra:	APROPIADA	Fecha de Vencimiento:	-----
Remitente:	ING. GUILLERMO ALBERTO MEJIA DUBON	Fecha de Ingreso:	26/10/2016
Procedencia:	UNIDAD DE PLANIFICACION ESTRATEGICA, DEPARTAMENTO DE PROYECTOS, GUATEMALA	Fecha de Egreso:	07/12/2016

Resultado de Análisis

LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	COLIFORMES FECALIS
CAJA DE REGISTRO CIRUGIA DE HOMBRES, HOSPITAL DE AMATITLAN	1.1 x 10 ⁶ NMP/100mL
CAJA DE REGISTRO CIRUGIA DE MUJERES, HOSPITAL DE AMATITLAN	1.1 x 10 ⁴ NMP/100mL

RESULTADO DE ANALISIS
LNS DGRVCS MSPAS
Guatemala, C. A.

Area Microbiología de Alimentos:

Inga. Mónica Méndez de Maldonado
Coordinadora a.i. Unidad de Alimentos

Método:

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th. Edition. 9221. Técnica Fermentación de Tubos Múltiples para el Grupo Coliforme.

NMP: Número Más Probable
mL: mililitro

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

REFERENCIA NORMATIVA: ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006. "REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS".

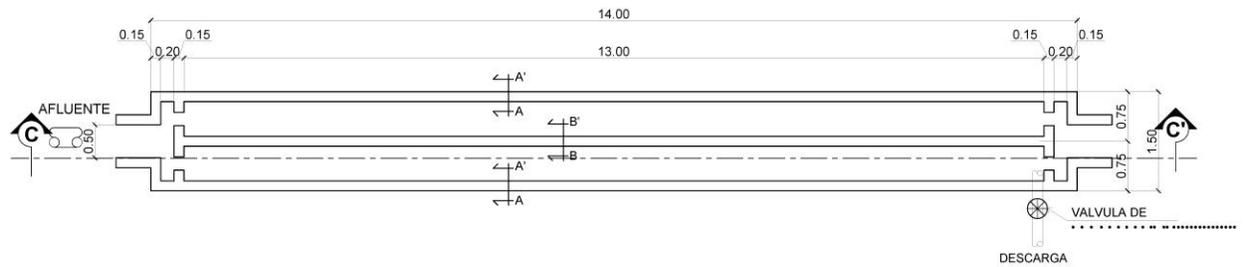
Analista/Supervisor o Coordinador	Código Laboratorio
PM,MS/MdeM	MIALR-MC02-16/58

AdeD

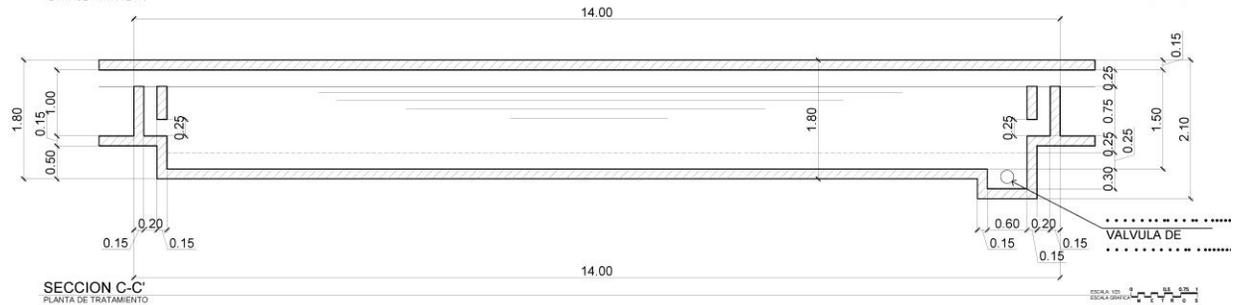
ÚLTIMA LÍNEA

"El LNS avala únicamente el contenido del documento original, el manejo de la reproducción es responsabilidad del propietario"

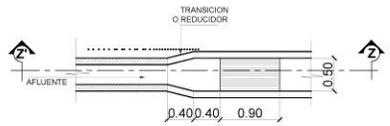
Anexo 2. Planos PTAR Hospital Nacional San Juan de Dios de Amatitlán Planta y sección desarenador, detalles rejilla



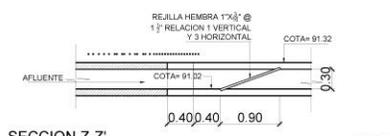
PLANTA DE 2 DESARENADORES
PLANTA DE TRATAMIENTO



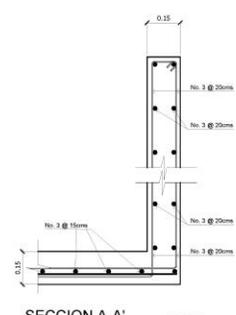
SECCION C-C'
PLANTA DE TRATAMIENTO



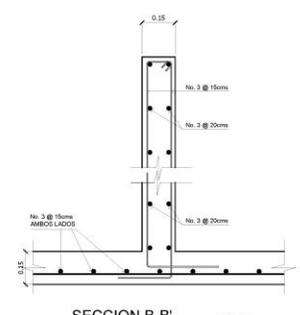
PLANTA UBICACION DE REJILLA
PLANTA DE TRATAMIENTO



SECCION Z-Z'
PLANTA DE TRATAMIENTO



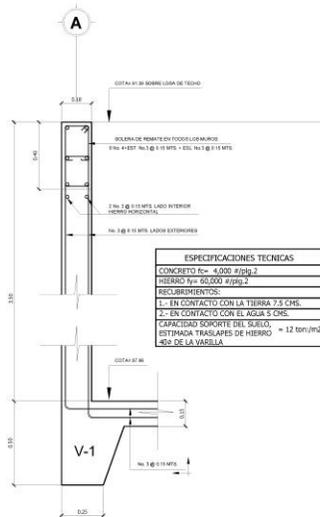
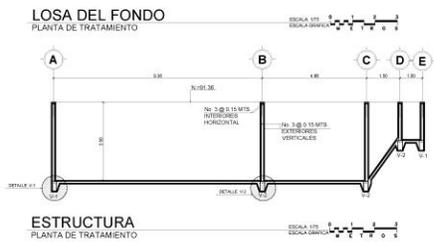
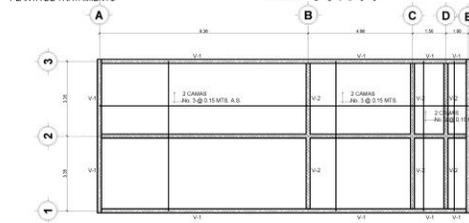
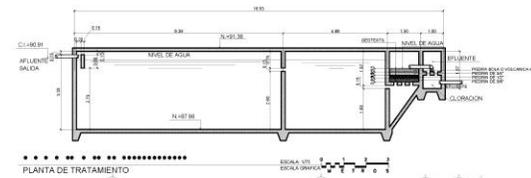
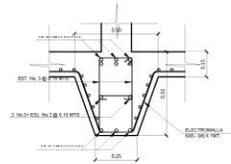
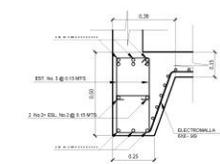
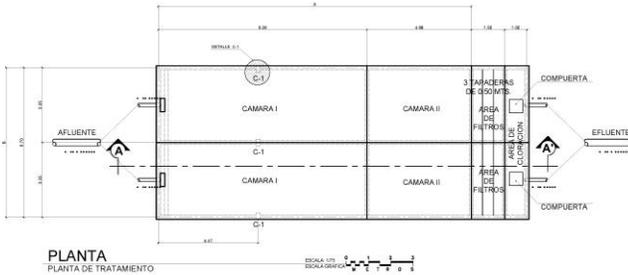
SECCION A-A'
PLANTA DE TRATAMIENTO



SECCION B-B'
PLANTA DE TRATAMIENTO

Continuación anexo 2

Planta y cortes RAFA, detalles estructuras



ESPECIFICACIONES TECNICAS	
CONCRETO	f _{cd} = 4,000 kg/cm ²
ACERO	f _y = 60,000 kg/cm ²
RECURRIMIENTOS:	
1-	EN CONTACTO CON LA TIERRA 7.5 CMs.
2-	EN CONTACTO CON EL AGUA 5 CMs.
CAPACIDAD SOPORTE DEL SUELO	= 12 ton/m ²
ESPESOR TRABAJES DE HIERRO	DE LA VARILLA

Fuente: Departamento de Proyectos del Ministerio de Salud Publica y Asistencia Social .