

**TABLA DE CONTENIDO**

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN .....	6
2. OBJETIVOS.....	7
2.1 Objetivo General.....	7
2.2 Objetivos Específicos .....	7
3. AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS EN COLOMBIA.....	8
4. DISEÑO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL HOSPITAL UNIVERSITARIO LA SAMARITANA .....	9
5. DEFINICIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL PROYECTO A DISEÑAR.....	9
5.1 Diagnostico detallado de la situación del HUS.....	9
5.2 Localización de los componentes del sistema .....	9
6. RECONOCIMIENTO DE CAMPO, INVESTIGACIÓN PREDIAL INICIAL . ; <b>Error!</b> <b>Marcador no definido.</b>	
6.1 Evaluación técnica redes de drenaje HUS .....	<b>;Error! Marcador no definido.</b>
6.1.1 Metodología de sondeo.....	<b>;Error! Marcador no definido.</b>
6.1.2 Conclusiones del Sondeo.....	<b>;Error! Marcador no definido.</b>
7. LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS.....	<b>;Error! Marcador no definido.</b>
8. INVESTIGACIÓN DE SUELO Y GEOTECNIA.....	<b>;Error! Marcador no definido.</b>
8.1 Geología y Geomorfología .....	<b>;Error! Marcador no definido.</b>
8.2 Recomendaciones del estudio para cimentación placa PTAR;	<b>Error! Marcador no definido.</b>
9. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DEL HUS.....	<b>;Error! Marcador no definido.</b>
9.1 Objeto.....	<b>;Error! Marcador no definido.</b>
9.2 Características fisicoquímicas vertimiento HUS ...;	<b>Error! Marcador no definido.</b>
9.3 Proyección caudal HUS .....	<b>;Error! Marcador no definido.</b>
9.4 Tipos de tratamiento .....	<b>;Error! Marcador no definido.</b>

9.5	Tipos de alternativas de tratamiento .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
9.5.1	Alternativa PTAR N°1 .....	10
9.5.1.1	Tratamiento Primario .....	11
9.5.1.2	Tratamiento Secundario .....	12
9.5.1.3	Tratamiento terciario .....	14
9.5.1.4	Ventajas del sistema .....	17
9.5.1.5	Valor alternativa PTAR N°1 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
9.5.2	Alternativa PTAR N°2 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
9.5.2.1	Componentes de la planta de tratamiento de agua residual .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
9.5.2.2	Valor alternativa N°2 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
9.5.3	Alternativa PTAR N°3 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
9.5.3.1	Tratamiento Primario .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
9.5.3.2	Tratamiento fisicoquímico .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
9.5.3.3	Sistema de tratamiento de lodos – Espesado y desaguado de lodos .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
9.5.3.4	Valor alternativa N°3 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
9.6	Criterios de sostenibilidad económica .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
9.7	Criterios de sostenibilidad técnica .....	18
9.7.1	PTAR N°1 .....	18
9.7.1.1	Exo-estructura .....	18
9.7.1.2	Fácil Instalación .....	19
9.7.1.3	Estética visual.....	19
9.7.1.4	Accesorios incluidos en la instalación .....	20
9.7.1.5	Repuestos críticos y consumibles.....	20
9.7.2	PTAR N°2 .....	21
9.7.3	PTAR N°3 .....	22
9.8	Criterio de sostenibilidad ambiental .....	22
9.9	Criterios de gestión de riesgo.....	23
9.10	Criterios de sostenibilidad social .....	23

9.11	Metodología selección de la alternativa más favorable .....	23
10.	MEMORIA DE CALCULO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL HUS .....	25
10.1	Caudal de diseño .....	25
10.1.1	Caudal teórico.....	25
10.1.1.1	Caudal neto funcionarios Hospital Universitario La Samaritana.....	26
10.1.1.2	Caudal población flotante Hospital Universitario La Samaritana.....	26
10.1.1.3	Caudal neto total.....	26
10.1.2	Caudal de diseño a 25 años de proyección .....	27
10.1.2.1	Caudal medio Diario .....	27
10.1.2.2	Caudal máximo Diario .....	27
10.1.2.3	Caudal máximo Horario .....	28
10.2	PRE-TRATAMIENTO .....	28
10.2.1	Vertedero de excesos .....	28
10.2.2	Canal de aproximación .....	29
10.2.2.1	Canal de entrada.....	29
10.2.2.2	Sistema de rejillas o Cribado.....	32
10.2.2.3	Desarenador.....	37
10.3	Tanque de Igualación.....	42
10.4	CALCULO HIDRAULICO TUBERÍA PVC A TUBO LLENO.....	43
10.4.1	Selección dimensión tubería de bombeo .....	43
10.4.2	Calculo presión de la bomba .....	46
10.4.3	Cálculo pérdida de fricción en la tubería.....	47
10.4.4	Pérdida total en el sistema .....	48
10.4.5	Carga total de la bomba .....	49
10.4.6	Calculo potencia de la bomba.....	49
10.5	Planta de Tratamiento de Agua Residual PTAR.....	49
11.	BIBLIOGRAFÍA .....	51

## LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1 Área Localización de los componentes del sistema de tratamiento .....	10
Imagen 2 Georadar de penetración terrestre Ditch Witch ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Imagen 3 Identificación de tubería de 12" a 1,3m de profundidad en la cocina .....	<b>¡Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
Imagen 4 Identificación de cajilla de inspección de 0.9x0.9m	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Imagen 5 Nivel freático en el patio de la cocina .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Imagen 6 Nivel freático pasillo aledaño a las calderas.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Imagen 7 Identificación de ducto eléctrico.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Imagen 8 Perforación estudio de suelos .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Imagen 9 Componentes PTAR 1 .....	11
Imagen 10 Criba Estática.....	12
Imagen 11 Rosetones en polipropileno de alta densidad.....	13
Imagen 12 Tratamiento secundario .....	14
Imagen 13 Equipo para control de olores.....	15
Imagen 14 Módulo de perfeccionamiento .....	17
Imagen 15 Esquema PTAR 2 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Imagen 16 Esquema PTAR 3 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Imagen 17 Tornillo multi disco MDS para control de lodos	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Imagen 18 Perfil tornillo multi-disco MDS.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Imagen 19 Tamiz transportador de canal .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Imagen 20 Exo-estructura.....	19
Imagen 21 Mínimo impacto visual.....	20
Imagen 22 Localización Planta de tratamiento de agua Residual .....	25

## LISTA DE TABLAS Y GRAFICAS

	Pág.
Tabla 1 Valor Alternativa PTAR N°1 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 2 Valor Alternativa N°2 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 3 Costos Alternativas de tratamiento.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 4 Evaluación de alternativas de tratamiento .....	24
Tabla 5 Dimensión del vertedero de excesos .....	29
Tabla 6 Dimensiones canal de entrada .....	32
Tabla 7 Dimensiones sistema de rejillas.....	37
Tabla 8 Calculo dimensiones desarenador .....	42
Tabla 9 Dimensiones desarenador .....	42
Tabla 10 Dimensiones tanque de Igualación.....	43
Tabla 11 Memoria de cálculo PTAR HUS.....	51
Gráfica 1 Parámetros que no cumplen con el artículo 14 de la resolución 631 de 2015 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Gráfica 2 Selección de alternativa de tratamiento para el HUS .....	24
Gráfica 3 Eficiencia PTAR HUS.....	51

## **1. INTRODUCCIÓN**

El tratamiento de las aguas residuales es fundamental para evitar la contaminación de las aguas superficiales o el suelo. El Hospital Universitario La Samaritana (HUS) es una institución pública que genera un vertimiento cuya descarga se realiza sobre el alcantarillado público de la ciudad. Los vertimientos hospitalarios son considerados peligrosos debido al riesgo biológico y químico que los constituyen. En este orden de ideas se presenta el diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR), para realizar la remoción del efluente y así cumplir con los parámetros de vertimiento establecidos en el artículo 14 de la resolución 631 de 2015.

El diseño comenzó con la visita a las instalaciones de la institución para identificar población fija y flotante del hospital, origen, tipo, composición y frecuencia de los vertimientos generados por área. Esta información primaria permitió calcular un caudal teórico y tener un primer diagnóstico del tipo de vertimiento que se origina en el HUS.

Para consolidar la información obtenida se realizó un monitoreo continuo 24 horas durante 8 días del caudal de vertimiento que genera la institución, permitiendo obtener los días y horas de mayor y menor descarga de agua residual, dato fundamental para el diseño de la PTAR. Continuamente se realizó la caracterización del agua residual obteniendo los elementos objeto de tratamiento por sus elevadas concentraciones por encima de los estándares admisibles para su descarga al alcantarillado público de la ciudad.

Por otro lado se realizó un sondeo con Georadar a la tubería de drenaje existente con el fin de identificar su existencia, estado, cajillas y redes o demás infraestructura existente en la superficie construida, con el fin tener en cuenta durante la ejecución y evitar daños innecesarios en la instalación de la red de conducción de agua residual hacia la PTAR. Esta información permitió la elaboración de un plano hidráulico con los detalles encontrados mediante este equipo de sondeo. De igual manera el sondeo permitió definir que el área

seleccionada para la instalación del sistema de tratamiento no tiene elementos que impidan su construcción .

Una vez despejada el área de instalación se realizó el estudio de suelos y geotecnia para la cimentación de la placa que debe soportar las unidades de tratamiento. Definiendo la composición del suelo y las condiciones con las que se debe realizar la obra civil.

Para el diseño de la PTAR se tuvo en cuenta el caudal proyectado a 25 años, con la finalidad de que la Planta instalada tenga la capacidad de asumir este crecimiento en la institución sin necesidad de su ampliación.

Finalmente se presenta tres alternativas de tratamiento, seleccionando las más apropiada de acuerdo a los criterios establecidos en la resolución 330 de junio del 2017 que adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Realizar el estudio de diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Residual para el Hospital Universitario La Samaritana.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Hacer un diagnóstico inicial de la población fija, flotante, origen, tipo, composición y frecuencia del vertimiento generado en el HUS, para determinar un caudal teórico de diseño.
- Realizar un monitoreo de 15 días para determinar caudales de vertimiento mínimos, medios y máximos en la institución.
- Realizar una caracterización del agua residual del hospital mediante un monitoreo compuesto de 24 horas.
- Verificar el estado de la tubería de aguas residuales y redes existentes mediante un sondeo con Georadar que permita la elaboración de un plano hidráulico actualizado.
- Seleccionar el área más apropiada para la instalación de la PTAR teniendo en cuenta el estudio de sondeo.
- Realizar un estudio de suelos y geotécnico para la placa de soporte donde se ubicará el sistema de tratamiento.

- Presentar tres alternativas de tratamiento de agua residual para el HUS, seleccionando la más apropiada en materia económica, técnica, ambiental y social para la institución.

### **3. AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS EN COLOMBIA**

Los hospitales consumen grandes volúmenes de agua por día, generando otro volumen similar de agua residual con microorganismos patógenos, medicamentos metabolizados, compuestos tóxicos, etc. Los problemas asociados a los líquidos residuales generados 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. Es por ello que estos problemas trascienden el campo técnico-sanitario e involucran aspectos sociales, económicos, políticos y ambientales, entre otros (Ferreira et al 2000).

En este contexto la División de Apoyo Operacional en Salud Ambiental y el Centro Europeo de Salud Ambiental de la OMS han formado un grupo internacional para 12 estudiar el problema de los residuos en los centros de salud en países en desarrollo (Pruess et al., 1998).

En Colombia el tratamiento de aguas residuales hospitalarias no se realiza adecuadamente lo cual representa un problema de salud y sanitario, debido a las grandes cargas de materia orgánica y farmacéuticos presentes en estas.

Los hospitales generan aproximadamente 750 litros de aguas residuales por cama por día, estos efluentes llevan una gran carga de microorganismos patógenos, farmacéuticos parcialmente elementos metabólicos, radiactivos y otras sustancias tóxicas y químicas. La dosis de contaminantes de origen hospitalario muestra que ciertas sustancias, tales como agentes antitumorales, antibiótico y compuestos organohalogenados al dejar las plantas de tratamiento de aguas residuales, estos compuestos químicos pueden provocar la

contaminación del hábitat, un desequilibrio biológico además de causar efectos tóxicos agudos y mutagénicos en organismos vivos (Rezaee, 2005).

#### **4. DISEÑO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL HOSPITAL UNIVERSITARIO LA SAMARITANA**

Según la resolución 330 de junio del 2017 que adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, se define en el Título 2 los siguientes criterios para diseño de cada elemento del sistema.

#### **5. DEFINICIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL PROYECTO A DISEÑAR**

##### **5.1 Diagnostico detallado de la situación del HUS**

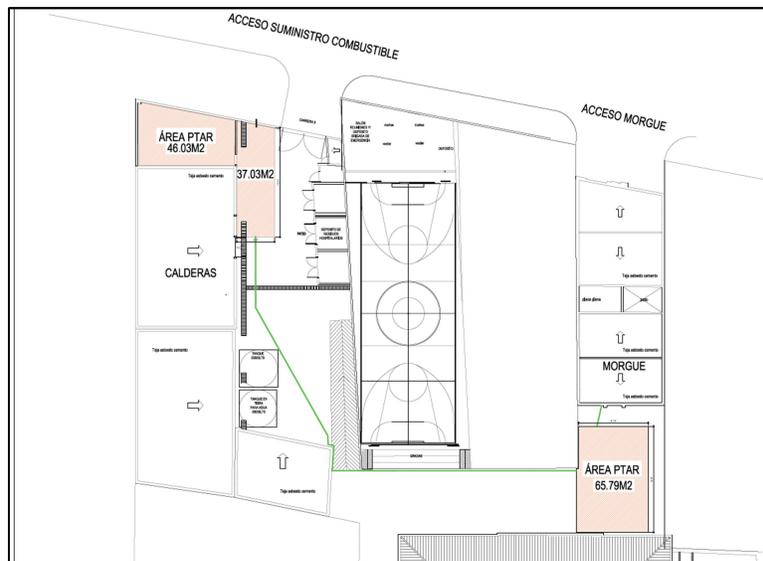
El Hospital Universitario La Samaritana localizado en la carrera 8 No 0-29 Santa Fe, Bogotá genera vertimientos institucionales al alcantarillado público de la ciudad con cargas superiores a las establecidas en el artículo 14 de la resolución 631 de 2015.

Según la caracterización y monitoreo del vertimiento realizado durante 8 días con periodo continuo de 24 horas en la institución se evidenció un caudal mínimo de vertimiento de 0,065l/s, medio de 1,39l/s y máximo de 4,67l/s. Los días de mayor vertimiento son los martes y viernes y los de menor caudal los domingos y miércoles.

Mediante la recolección de información primaria en cada una de las plantas del Hospital Universitario la Samaritana, se registró una población fija en la institución de 1051 personas y flotante de 1683 personas, para un total de 2734 personas. Teniendo en cuenta una ampliación de la institución proyectada a 25 años, tiempo en el que se construirá una nueva planta de servicios generales que aumentará la población en un 4%. Consolidando la población total del HUS de 2843.36 personas proyectado a 25 años.

## 5.2 Localización de los componentes del sistema

La ubicación del sistema de tratamiento debe ser en lo posible un sitio alejado de los servicios generales del HUS, que cuente con disposición de drenajes para la descarga del vertimiento y que el área se lo suficiente para la instalación de la PTAR (Planta de Tratamiento de Agua Residual). En este orden de ideas teniendo en cuenta las anteriores recomendaciones el sitio seleccionado para la localización del sistema de tratamiento es un área alejada de la planta Principal de servicios generales, cerca del alcantarillado principal de la vía para la descarga del vertimiento, tal como se observa en la siguiente imagen.



**Imagen 1 Área Localización de los componentes del sistema de tratamiento**

Es importante aclarar que el tratamiento principal se ubicará en el área de  $46,03\text{m}^2$  y  $37,03\text{m}^2$ , el área que corresponde a  $65,79\text{m}^2$  hace parte del pretratamiento y sistema de bombeo de agua residual hacia la PTAR.

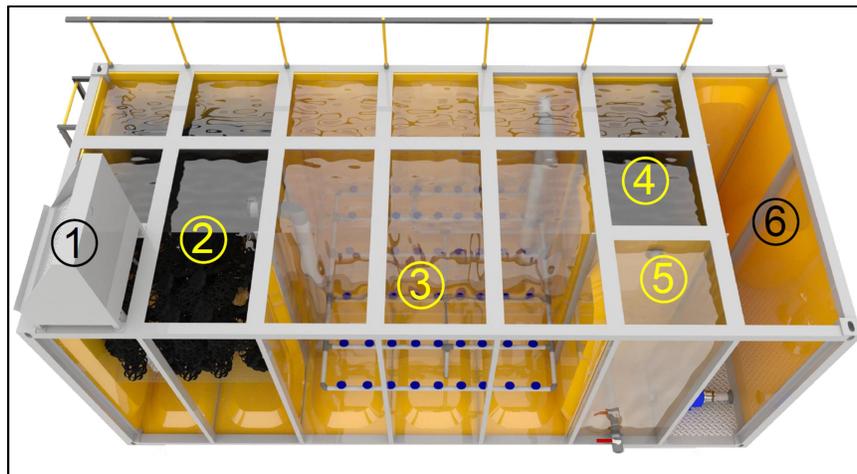
### 5.2.1 Alternativa PTAR N°1

Como primera alternativa de tratamiento para las aguas residuales del Hospital Universitario La Samaritana, se tiene una planta compacta que ofrece un tratamiento primario, secundario y terciario. Cuenta con alta tecnología MBBR que le permite depurar aguas de diferentes tipos de complejidad como:

- ✓ Aguas residuales domésticas y comerciales
- ✓ Industria hospitalaria y hotelera
- ✓ Aguas residuales municipales
- ✓ Campamentos, industria alimenticia y minera

La planta compacta tiene una serie de componentes que le permiten garantizar un buen tratamiento, cada una de las áreas tiene una función específica en la remoción del agua residual, con el fin de entregar a la salida del sistema un efluente óptimo para descarga del vertimiento, sus componentes son los siguientes:

1. Criba Estática
2. Cámara de recibo y sedimentación primaria
3. Cámara de proceso aeróbico MBBR
4. Cámara de Floculación
5. Cámara de Clarificación
6. Módulo de Perfeccionamiento



*Imagen 2 Componentes PTAR 1*

### **5.2.1.1 Tratamiento Primario**

#### **➤ Criba Estática**

El pre-tratamiento de las aguas residuales, está integrado por una serie de procesos como desbaste, cribado, separación de grasas, recibido y bombeo, los cuales son de vital importancia para el correcto funcionamiento de todo sistema de tratamiento.

Rejilla Media: Retiene sólidos de menor tamaño como piedras, hojas, arena y en general toda clase de basura media acarreada por el sistema de alcantarillado. Las rejilla pueden tener inclinaciones de 45 a 60 grados con respecto a la horizontal y no requiere de mantenimiento, ya que por su diseño de flujo se auto limpia por la vertical de su estructura, lo que no permite que los sólidos se obstruyan o se adhieran a la superficie arrastrándolos hacia la parte baja.

Es un equipo simple, pero de alta eficacia, no requiere de insumos, energía o personal de operación, consta de una entrada de agua residual, cajón, rejilla y una salida del agua filtrada con conexión directa a la PTAR para continuar con su proceso de tratamiento.



*Imagen 3 Criba Estática*

### **5.2.1.2 Tratamiento Secundario**

#### **➤ Cámara anaerobia**

El tratamiento secundario o biológico está conformado por una cámara anaerobia donde la materia orgánica es degradada mediante bacterias en ausencia de oxígeno, mejorando la eficiencia a través Rosetones en polipropileno de alta densidad ideal para la proliferación y cultivo del conjunto de bacterias anaerobias que degradan rápidamente la materia orgánica.

El proceso biológico anaerobio inicia una vez el agua ingresa por la parte superior de la cámara y es conducida mediante tubería PVC hasta el fondo del tanque, en su carrera ascensional, el agua residual deberá atravesar el material de Soporte (Rosetones Biopack en polipropileno) que sirven de lecho para la población de microorganismos de degradación rápida (Bacterias Anaeróbicas BIODYNE Agroindustrial 301). Este relleno aumenta la superficie de contacto del Agua Residual, materia orgánica y microorganismos, lo que permite lograr en un menor tiempo de retención y menor área de acción mejores resultados de degradación (entre 80 y 85%).



*Imagen 4 Rosetones en polipropileno de alta densidad*

Este módulo elimina todo tipo de malos olores causados por gases como etileno sulfúrico y sulfhídrico, al mismo tiempo ofrece la más alta capacidad de remoción en cargas biológicas diluidas reduciendo hasta en un 90% la DBO Y DQO, nitrógeno, amoniac, entre otros.

#### ➤ **Cámara aerobia**

Proceso biológico en el cual se degrada la materia en presencia de oxígeno, incluye relleno MBBR tipo flocor RS (1cms de diámetro por 2 cm de longitud) para soporte biológico móvil. Esta segunda cámara del reactor contiene 4 Blower Aireadores Industrial Monofásico de 1.7hp -220V- 60 Hz – 2 PSI – 96 m<sup>3</sup>/h – 0,75kw/hora-6/3A, 180 inyectores para Blower-Inyecta aire en micro-burbujas – fabricadas en PVC DE ½”.

El equipo utilizado en el tratamiento aerobio se basa en un sistema de aireación difusa o aireadores de superficie mecánica. Los aireadores permiten maximizar la transferencia de oxígeno y minimizar los olores a medida que se trata el agua residual. Se utiliza un lecho o relleno que funciona como medio de adherencia de microorganismos y materia orgánica que garantiza procesos eficientes en menores tiempos de retención hidráulica y área ocupada. Se estima una eficiencia de 90% en degradación de materia orgánica.

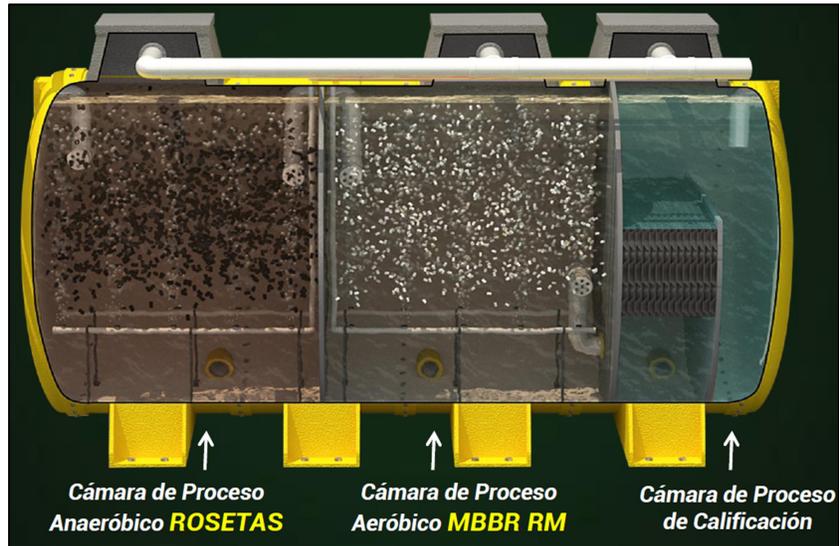
➤ **Cámara de decantación**

Se localiza en el compartimiento número 3 del tanque para realizar el proceso de Sedimentación secundaria, incluye: sistema lamelar tipo colmena (60° de inclinación) de 52 Cm de alto x 50 Cm de ancho x 200 Cm de largo, fabricado en PVC para sedimentación acelerada de lodos de mayor densidad y flóculos de menor tamaño.

El agua es conducida desde el compartimiento (Proceso aeróbico) al tanque donde se encuentra un módulo de sedimentación acelerada tipo colmena con 60° de inclinación que permite una rápida y efectiva separación de la Biomasa y el agua, los lodos decantados en el fondo de este compartimiento deben ser recirculados, mientras que el agua ya con mayor clarificación es conducida por gravedad desde la parte superior de las lamelas hasta el depósito de bombeo para ser dispuesta por bombeo al módulo de perfeccionamiento de agua.

➤ **Cámara de clarificación**

Es el compartimiento que permite la recolección y almacenamiento de agua clarificada para ser bombeada al módulo de perfeccionamiento.



*Imagen 5 Tratamiento secundario*

### 5.2.1.3 Tratamiento terciario

#### ➤ Torre eólica eliminadora de olores

Esta planta posee un moderno sistema para el control de olores por tecnología de FOTOCATÁLISIS por Radiación UV-C y Dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ) para degradaciones de Biogás y Olores desagradables generados en el tratamiento biológico.

El  $\text{TiO}_2$  funciona como catalizador/conductor para que la energía aportada por la Luz UV-C de onda corta pueda degradar Olores y gases en agua y oxígeno, y a su vez eliminar hasta en un 99,9% los virus y las bacterias transportadas por el agua.

Esta tecnología permite instalar la planta en cualquier lugar sin afectar el medio ambiente, ni generar molestias a los habitantes del entorno.



*Imagen 6 Equipo para control de olores*

➤ **Módulo de perfeccionamiento MPR-80**

Este módulo se encuentra ensamblado dentro de la estructura tipo contenedor, el cual garantiza la calidad del efluente final en parámetros como: DQO, SST, microorganismos patógenos y otros con el objetivo de darle usos secundarios al efluente (Riego y vertimiento a cuerpo de aguas superficiales).

El módulo de perfeccionamiento trabaja gobernado por un electro boya de nivel que se encuentra ubicado en el tercer compartimiento del tanque reactor PTAR, el cual manda una señal de energizado a la caja de control para encendido de la electrobomba de inmersión, esto sucede una vez exista determinada cantidad de agua dentro de dicho compartimiento y el flotador se encuentre en posición vertical.

Proceso del sistema terciario

- ✓ Módulo de desbaste (proceso físico): 1 filtro Y con malla en acero inoxidable con capacidad para retener sólidos suspendidos y elementos arcillosos superiores a 2 mm, ayuda a la separación de nematodos presentes en el agua.
- ✓ Floculación en línea (proceso químico): Dosificador en peristáltico de Floculante/Coagulante (Sulfato de aluminio Tipo A) para clarificación de agua – Capacidad de carga: 9 lbs, incluye perilla para control de dosificación.
- ✓ Desodorización y eliminación de metales pesados (proceso químico): Dispositivo eléctrico digital para proceso de Ionización electrolítico KDF (Kinetic Degradation

Fluxion) (electrolisis modificada) para reducción de metales pesados, eliminación de olores, sabores extraños, algas y reducción de químicos cancerígenos.

- ✓ Filtración (proceso físico): 2 Filtro vertical en Fibra de Vidrio de 90 cms de diámetro x 120 cms de alto – incluye lecho Filtrantes Multicapa (Grava 2 – 4 y arena sílice 12 – 20 y 20 - 30) y válvula Multiport 5 puertos (1 ½”) para manejo de operaciones de filtrado y lavado del tanque filtro.
- ✓ Cloración de línea: Dosificador en línea por diferencial de presión de cloro (Hipoclorito de Calcio en tabletas al 70%) capacidad de carga: 9 lbs – Aplicación de dosis mínima de cloro residual, incluye perilla para control de dosificación
- ✓ Filtro reactor ultravioleta (proceso químico): 1 Filtro reactor Ultravioleta de 300 Wattios fabricado en PVC + AI SI 304, incluye 4 lámpara germicida de 75 micro wattios/cm2, UV-C de 254 nm (conexión T8) para eliminar hasta el 99.9% de los virus y bacterias transportadas por el agua.



*Imagen 7 Módulo de perfeccionamiento*

#### **5.2.1.4 Ventajas del sistema**

- ✓ Proceso compacto, posibilidad de aumentar la capacidad de tratamiento sin necesidad de espacio adicional u obra civil costosa ya que requiere reducido espacio para su instalación.
- ✓ Menores tiempos de retención hidráulica.

- ✓ Consigue un ahorro de hasta 60% en términos de oxígeno al requerir menor cantidad de aire que los sistemas convencionales de nitrificación/desnitrificación.
- ✓ No requiere ninguna fuente externa de carbono, por lo que reduce los costos de operación y tiene menor impacto medioambiental.
- ✓ Sistemas de un solo paso
- ✓ Reducción de un 85% en las emisiones de CO<sub>2</sub>
- ✓ 90% de reducción en la producción de fango gracias al lento crecimiento de las bacterias empleadas
- ✓ Permite ampliar la capacidad de tratamiento de las plantas existentes de forma económica y rápida
- ✓ Proceso robusto frente a toxicidad o variaciones de las concentraciones de nitrógeno.
- ✓ Puesta en marcha de nuevas instalaciones en menos de 6 meses, gracias a la utilización de soportes ya colonizados
- ✓ Requiere mínimo control y mantenimiento.

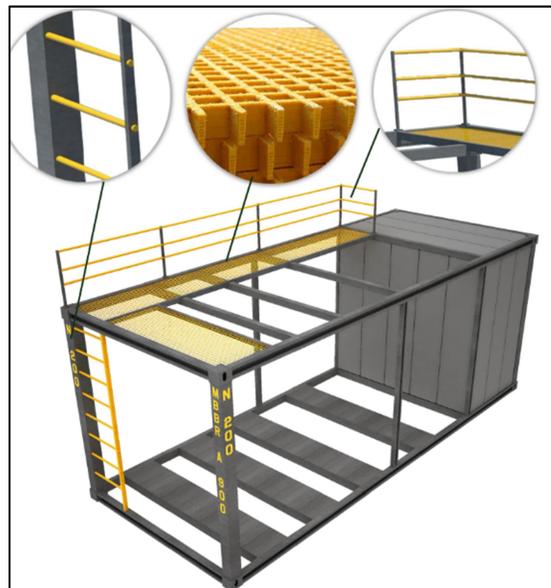
### **5.3 Criterios de sostenibilidad técnica**

### 5.3.1 PTAR N°1

#### 5.3.1.1 Exo-estructura

La PTAR 1 es una planta compacta que tiene una exo-estructura en acero que se ajusta a los mismos parámetros de un contenedor marítimo, permitiendo que el reactor y la cámara de perfeccionamiento en fibra de vidrio sean transportadas de manera continua, fácil, ubicadas o reubicadas según su destino. Los accesorios de la estructura presentan las siguientes características.

- ✓ Fabricados en PRFV Pultruida
- ✓ Recubrimiento antideslizante
- ✓ Evita accidentes en caso de lluvia
- ✓ Aislamiento eléctrico 100% para el operador
- ✓ 0% de conductividad eléctrica
- ✓ 100% anticorrosivo
- ✓ Facilidad de mantenimiento



*Imagen 8 Exo-estructura*

#### 5.3.1.2 Fácil Instalación

La Planta es ensamblada totalmente dentro de una exo-estructura que incluye todas las interconexiones hidráulicas, eléctricas y electrónicas, su formato tipo contenedor es complementado con un sistema de paneles de recubrimiento que garantizan 100% protección a intemperie, robos o vandalismo del total de sus componentes. Es una unidad que solo requiere un técnico para su instalación en un tiempo no superior a 24 horas.

### 5.3.1.3 Estética visual

El tanque tipo contenedor ha sido diseñado con paneles en fibra de vidrio que pueden reemplazar el tanque cilíndrico convencional. Dichos paneles están disponibles en diferentes colores e igualmente al ser completamente lizos permiten instalárseles vinilo adhesivo impreso con cualquier paisaje, textura u otra impresión que se desee, generándose un impacto visual mínimo como se observa en la siguiente imagen.



*Imagen 9 Mínimo impacto visual*

### 5.3.1.4 Accesorios incluidos en la instalación

- 3 Patas de Soporte fabricadas en fibra de vidrio y ubicadas en el cuerpo del tanque, de 50 cms de alto x 40 cms de ancho
- 3 Manholes de verificación en fibra de vidrio de 20" de Diámetro x 30 cms de altura, incluye tapa en fibra de vidrio
- 1 Caja de Control fabricada en acero al carbón de 3 mm (caja Anti explosión) para manejo semiautomático de los módulos eléctrico/mecanismos del sistema de

tratamiento y programador secuencial de encendido y apagado del sistema de aireación.

- 3 Litros de microorganismos anaeróbicos (Biodyne 301) para el arranque y primer cargue de la planta.
- 1 Estructura tipo contenedor de alta resistencia mecánica en acero al carbón con cubierta perimetral.
- 4 Ganchos de izaje homogenizados a normativas internacionales de contenedores.
- 1 Escalera de acceso y maniobras fabricada en acero al carbón.
- 1 Cubierta superior atornillada para facilidad de desmonte y/u operatividad (para futuros mantenimientos generales).
- 1 Electrobomba de Inmersión de Aguas negras de 0.5 hp con paso de partículas de ½” para ubicación en el tanque de recibido y bombeo.

#### **5.3.1.5 Repuestos críticos y consumibles**

- Electrodo KDF para proceso de Ionización - Vida Útil 18 meses.
- Lámpara UV-C (90 Wattios) conexión T8 (254 nm) – Vida Útil 18 meses.
- Microorganismos Biodyne Agroindustrial 301: Dosificación: 4 Litros en tratamiento de Choque – 2 Litros en Mantenimiento.
- Floculante: Sulfato de Aluminio Tipo A (granulado / Escamas): de 25 a 250 gr / m3 procesado.
- Desinfectante: Hipoclorito de calcio en tabletas: de 3 a 5 Gr / m3 procesado.
- Generación de Lodos: Purgas programadas cada 5 o 6 meses (Volumen de Purga de 3 a 5 m3).

En materia técnica la Planta N°1 es compacta, de fácil instalación y utiliza alta tecnología que le permite reducir los tiempos de retención y aumentar la remoción del agua residual mediante la combinación de procesos anaerobios, aerobios y fisicoquímicos. Lo que da como resultado la utilización de poca área para su instalación, factor importante para el Hospital Universitario La Samaritana.

#### **5.3.2 PTAR N°2**

La segunda alternativa es una planta de tratamiento conformada por un proceso aerobio y fisicoquímico de filtración y desinfección. Sus componentes estructurales están elaborados en Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (P.R.F.V) favoreciendo su durabilidad en el tiempo.

Presenta un esquema de tratamiento preliminar, biológico, físico (filtración), químico (desinfección) y manejo de lodos. Lo que hace un sistema eficiente en la remoción de las aguas residuales. Sin embargo debido a que su fuerte es el proceso biológico de degradación de la materia en presencia de oxígeno, sedimentación y filtración, necesita largos tiempos de retención hidráulica generando por ende aumento de su área de instalación. Aspecto negativo para esta alternativa debido a la poca área que se tiene disponible para la instalación de la PTAR en el Hospital Universitario La Samaritana.

### **5.3.3 PTAR N°3**

Es una planta compacta de tratamiento terciario fisicoquímico, donde se hace un manejo especial de los lodos generados en el proceso de tratamiento de agua residual utilizando para ello un sistema tipo prensa tornillo multi disco. Es un equipo de alta eficiencia que hace el trabajo de espesador y desaguador de lodos, tiene un bajo consumo eléctrico, trabajando las 24 horas sin ruido ni vibración, mínimo mantenimiento y fácil instalación.

A nivel técnico la planta cumple con los criterios exigidos por la norma y con el área disponible para su instalación en el Hospital Universitario La Samaritana, ya fundamenta su tratamiento en tecnología y procesos fisicoquímicos.

La PTAR 1, presenta un proceso de tratamiento compacto, con posibilidad de aumentar la capacidad de tratamiento sin necesidad de espacio adicional u obra civil costosa ya que requiere reducido espacio para su instalación.

## **5.4 Criterio de sostenibilidad ambiental**

Para la Alternativa N°1 La composición de la exo-estructura en acero y la planta en PRFV pultruida favorece la durabilidad de los componentes de tratamiento. Por otro lado se consigue un ahorro de hasta 60% en términos de oxígeno al requerir menor cantidad de aire que los sistemas convencionales de nitrificación/desnitrificación. Reduce un 85% las

emisiones de CO<sub>2</sub> y genera un 90% de reducción en la producción de lodos gracias al lento crecimiento de las bacterias empleadas. Finalmente la remoción total del sistema permite una eficiencia del 90%, entregando un efluente que se puede reutilizar para riego de zonas verdes.

La Alternativa N°2 presenta una estructura principalmente en PRFV, siendo también resistente y de vida útil larga. La rapidez de la fabricación, con respecto a un tanque totalmente en concreto, disminuye el impacto ambiental estético y visual. Tiene bajo consumo de químicos, siendo fácil el mantenimiento y sencilla de instalar y operar. Hace un manejo de los lodos generados en el proceso de tratamiento, dándole un uso especial mediante lechos de secado. Finalmente la planta está diseñada para dar cumplimiento a los criterios de remoción establecidos en el artículo 14 de la resolución 631 de 2015.

Por último se presenta la alternativa N°3, una planta compacta fisicoquímica de vida útil larga, que hace un manejo especial de lodos mediante un equipo de alta tecnología. Su proceso químico le permite cumplir con los parámetros de vertimiento establecidos en la norma. Sin embargo la utilización de tornillo multi disco requiere de un consumo de energía adicional a las demás alternativas de tratamiento, lo que incrementa el consumo de los recursos naturales.

### **5.5 Criterios de gestión de riesgo**

El sistema de tratamiento no presenta amenazas por inundaciones o deslizamientos debido a su ubicación. Según el mapa de Amenaza sísmica de Colombia esta área donde se ubicará el sistema de tratamiento tiene un riesgo moderado a débil. En este sentido debido a la composición estructural de las alternativas de tratamiento no se verían afectados por este tipo de eventos.

### **5.6 Criterios de sostenibilidad social**

De las tres alternativas la PTAR N°1 es la que cuenta con tecnología para la eliminación de olores, lo que es de gran importancia debido a que todos los procesos de tratamiento generan olores así el sistema sea confinado. Estos olores podrían generar molestias en la institución, por lo que su control es fundamental para prestar un buen servicio de tratamiento.

### 5.7 Metodología selección de la alternativa más favorable

La evaluación de la alternativa más favorable para el Hospital Universitario La Samaritana se realiza teniendo en cuenta los criterios establecidos en el artículo 14 de la resolución 330 de 2017, en materia sostenibilidad, aspectos económicos, técnicos, ambientales y sociales.

Las alternativas de tratamiento propuestas para el HUS son evaluadas mediante una matriz (Tabla 1) donde se establece un valor de 1-5 para cada uno de los criterios de evaluación. La ponderación de números dará como resultado un porcentaje de calificación, que definirá la alternativa más apropiada para tratar el agua residual del Hospital.

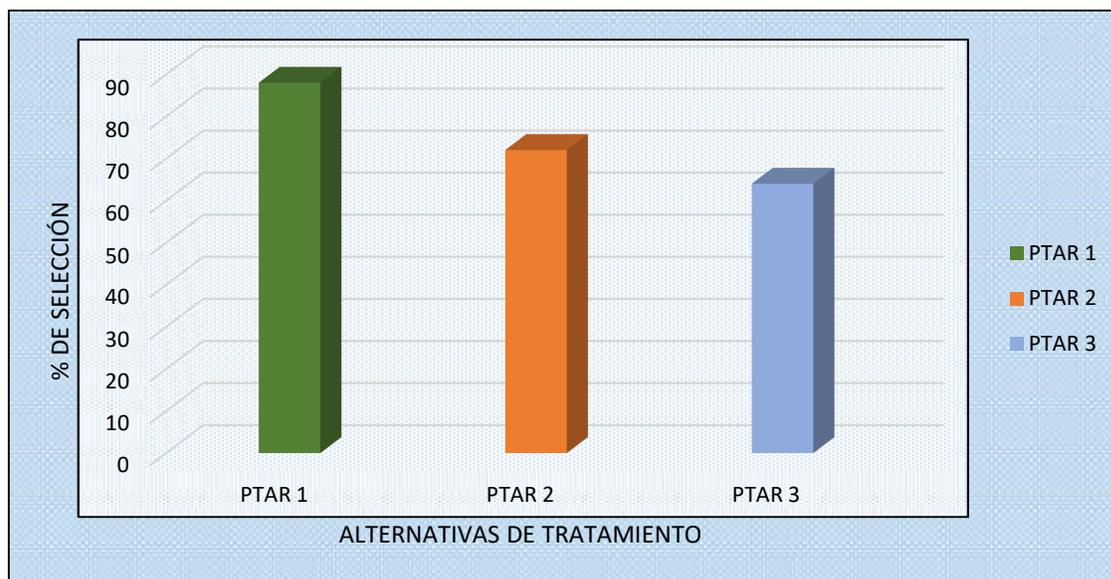
CRITERIOS	PTAR N1					PTAR N2					PTAR N3				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Económicos				X				X				X			
Técnicos					X				X					X	
Ambiental				X					X				X		
Riesgos				X					X					X	
Social					X			X					X		

*Tabla 1 Evaluación de alternativas de tratamiento*

$$PTAR N^{\circ}1 \rightarrow 4 + 5 + 4 + 4 + 5 = 4,4 \leftrightarrow 88\%$$

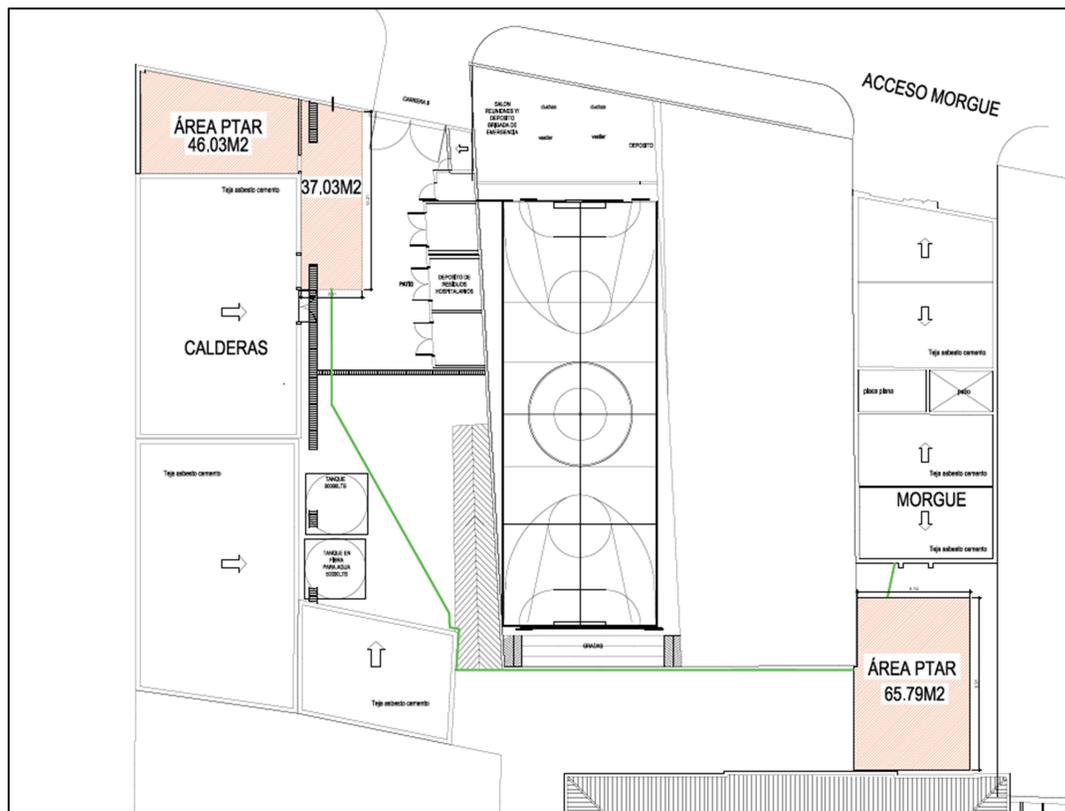
$$PTAR N^{\circ}2 \rightarrow 3 + 4 + 4 + 4 + 3 = 3,6 \leftrightarrow 72\%$$

$$PTAR N^{\circ}3 \rightarrow 2 + 4 + 3 + 4 + 3 = 3,2 \leftrightarrow 64\%$$



*Gráfica 1 Selección de alternativa de tratamiento para el HUS*

Como se observa en la matriz de evaluación y en la gráfica 2, la alternativa más favorable con un 88% de calificación a nivel económico, técnico, ambiental y social para el Hospital Universitario La Samaritana es el tipo de tratamiento que ofrece la PTAR N°1. Debido a que es la propuesta más económica, con procesos de tratamiento combinados y de alta tecnología que le permite una alta eficiencia de remoción, facilidad de instalación, desplazamiento, reducción del impacto visual y sobre todo el control y eliminación de malos olores. De igual manera también se ajusta al área disponible por parte de la institución para su instalación, tal como se observa en la siguiente imagen.



*Imagen 10 Localización Planta de tratamiento de agua Residual*

## **6. MEMORIA DE CALCULO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL HUS**

### **6.1 Caudal de diseño**

#### **6.1.1 Caudal teórico**

##### **6.1.1.1 Caudal neto funcionarios Hospital Universitario La Samaritana**

Corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un suscriptor o habitante, sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto. Teniendo en cuenta una población fija o empleada en el Hospital Universitario La Samaritana de 1051 personas y con base en el RAS 2010 Título B 2.5.2, se tiene la siguiente relación.

- Dotación: 90l/hab.día
- Complejidad: Baja
- Clima: Templado y frío
- Población Samaritana: 1051 personas

$$Q = 90 \text{ l/hab. día} * 1051 \text{ hab}$$

$$Q = \frac{90 \text{ l/hab. día} * 1051 \text{ hab}}{86400}$$

$$Q = 1,09 \text{ l/s}$$

##### **6.1.1.2 Caudal población flotante Hospital Universitario La Samaritana**

La población flotante es aquella que está ingresando y saliendo del Hospital Universitario La Samaritana por motivos de visita o acompañamiento a personas internadas en la institución.

- Dotación: 90l/hab.día
- Complejidad: Baja
- Clima: Templado y frío
- Población flotante: 1683 personas

$$Q = \frac{90 \text{ l/hab.día} * 1683 \text{ hab}}{86400}$$

$$Q = 1,75 \text{ l/s}$$

### **6.1.1.3 Caudal neto total**

El caudal teórico total es la suma del caudal neto generado por los funcionarios del Hospital Universitario La Samaritana y el caudal de la población flotante que están ingresando y saliendo el Institución.

$$Q_{NT} = Q_n + Q_F$$

$$Q_T = 1,05 \text{ l/s} + 1,75 \text{ l/s}$$

$$Q_{NT} = 2,84 \text{ l/s}$$

### **6.1.2 Caudal de diseño a 25 años de proyección**

Actualmente el Hospital La Samaritana cuenta con un personal fijo de 1057 funcionarios, una población flotante de 1683 y una población proyectada a 25 años de 400 personas correspondiente a la realización de una nueva planta de servicios. En este orden de ideas la población para 25 años sería de 3140 personas.

#### **6.1.2.1 Caudal medio Diario**

$$Q_{md} = \frac{Dn * P}{86400}$$

$$Q_{md} = \frac{90 \text{ l/s.hab} * 3140 \text{ hab}}{86400}$$

$$Q_{md} = \frac{90l/s.hab * 3140hab}{86400} = 3,27l/s$$

#### 6.1.2.2 Caudal máximo Diario

$$Q_{MD} = Q_{md} * K_1$$

$$Q_{MD} = 3,27l/s * 1,3 = 4,25l/s$$

#### 6.1.2.3 Caudal máximo Horario

$$Q_{MH} = Q_{MD} * F$$

$$F = \frac{3.5}{p^{0.1}}$$

$$F = \frac{3.5}{3140^{0.1}} = 1.54$$

$$Q_{MH} = 4,25l/s * 1,56 = 6,63l/s$$

El caudal medio diario que se generaría en el Hospital Universitario La Samaritana de 3,27l/s y el caudal máximo horario sería de 6,6 l/s y teniendo en cuenta el aforo de caudales realizado por el laboratorio ASINAL S.A.S durante 8 días obteniendo como resultado los siguientes valores:

- a. Caudal mínimo: 0,065l/s
- b. Caudal medio: 1,39l/s
- c. Caudal máximo: 4,67l/s

Se define un caudal de diseño para la Planta de Tratamiento de Agua Residual de 3l/s, los caudales máximos horarios serán controlados mediante un Tanque de Igualación.

## 6.2 PRE-TRATAMIENTO

### 6.2.1 Vertedero de excesos

Se ubicará un vertedero de excesos antes del canal de aproximación, con el fin de evacuar un caudal de excesos que sea superior a 6,6l/s, que es el caudal máximo horario definido para el diseño de la PTAR. Se asumirá un ancho  $b=0,5m$  del vertedero de excesos.

Por lo tanto, la altura de la lámina de agua en el vertedero de excesos será:

$$h_v = \left( \frac{Q}{1.84b} \right)^{2/3}$$

Donde:

- ✓  $h_v$  = Altura de la lámina de agua en el vertedero de excesos en m
- ✓  $Q$  = Caudal de excesos en  $m^3/s$
- ✓  $b$  = Ancho del vertedero en m (valor asumido)

Reemplazando en la ecuación, tenemos:

$$h_v = \left( \frac{(0,0066m^3/s)}{1,84 * 0,50m} \right)^{2/3}$$

$$h_v = 0,037m \approx 4cm$$

Por lo tanto, se tendrá un vertedero de excesos con las siguientes dimensiones:

DIMENSIONES CAJILLA	VERTEDERO DE EXCESOS
Caudal de excesos ( $m^3/s$ )	0,0066
Ancho (m)	0,5
Longitud (m)	0,5
Altura de la lámina de agua (m)	0,04

*Tabla 2 Dimensión del vertedero de excesos*

## 6.2.2 Canal de aproximación

### 6.2.2.1 Canal de entrada

El canal de aproximación a la rejilla debe ser diseñado para hacer control y retención de sólidos. Además, debe tener preferiblemente una dirección perpendicular a las barras de la rejilla. El diseño del sistema de pretratamiento se realizará para un caudal máximo de 10l/s.

**Criterios de diseño:** El canal de entrada al sistema de tratamiento de aguas residuales se realiza de acuerdo a lo establecido en el RAS 2000.

- **Velocidad de aproximación ( $v_a$ ):** Para rejas de limpieza manual, la velocidad de aproximación debe oscilar entre 0,3 m/s y 0,6 m/s, por lo tanto, se selecciona para el diseño una  $v_a = 0,45$  m/s
- **Longitud del canal (L):** Se asume una longitud del canal de entrada de 2,15m.
- **Ancho del canal (a):** Se asume un ancho del canal de entrada de 0,50m. para facilitar su construcción.

#### Modelo de cálculo:

- **Área del canal de entrada:**

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

Donde:

- $A$  = Área del canal de entrada en  $m^2$
- $Q$  = Caudal de diseño en  $m^3/s$
- $v_a$  = Velocidad de aproximación en m/s

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

$$A = \frac{0,01}{0,45}$$

$$A = 0,022m^2$$

A partir de la anterior ecuación se calcula el área del canal de entrada a la Planta de tratamiento de Aguas Residuales, por lo tanto, tenemos:

- **Altura de la lámina de agua en el canal:**

La altura de la lámina de agua en el canal de entrada se calcula así:

$$h = \frac{A}{a}$$

Donde:

- $h$  = Altura de la lámina de agua en el canal de entrada en (m)
- $A$  = Área del canal de entrada en  $m^2$
- $a$  = Ancho del canal de entrada en m

$$h = \frac{A}{a}$$

$$h = \frac{0,022}{0,5}$$

$$h = 0,044m$$

- **Borde libre:**

Se tendrá un borde libre en el canal de entrada de

$$BL = 0,46m$$

- **Altura total del canal de entrada:**

La altura total del canal de entrada, se calcula con siguiente ecuación:

$$H = h + BL$$

Donde:

- $H$  = Altura total del canal de entrada en m
- $h$  = Altura de la lámina de agua en el canal de entrada en m
- $BL$  = Borde libre en el canal de entrada

Por lo tanto, la altura total del canal de entrada será:

$$H = 0,044m + 0,46m$$

$$H = 0,504m$$

Para efectos constructivos y teniendo en cuenta la retención de sólidos en las cribas del canal, se asumen las siguientes dimensiones.

CANAL DE ENTRADA			
Parámetro	Valor	Unidades	Observaciones
Caudal de diseño	0,01	m <sup>3</sup> /s	
Velocidad de aproximación (V <sub>a</sub> )	0,45	m/s	Rejas de limpieza manual (0.3 m/s < V <sub>a</sub> < 0.6m/s)
Longitud del canal (L)	2,00	m	Asumido
Ancho del canal (a)	0,50	m	Asumido
Área del canal (A)	0,022	m <sup>2</sup>	
Altura lámina de agua (h)	0,044	m	
Borde libre	0,46	m	
Altura total del canal de entrada (H)	0,50	m	

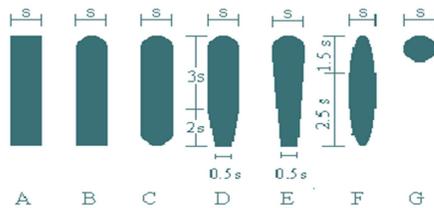
*Tabla 3 Dimensiones canal de entrada*

### 6.2.2.2 Sistema de rejillas o Cribado

**Criterios de diseño:** De acuerdo al RAS 2000

- ✓ **Número de unidades:** Se diseñarán dos unidades de cribado, con el fin de tener una unidad en operación y la otra en mantenimiento.
- ✓ **Ancho canal de rejillas:** Para cada unidad de cribado se asumirá un ancho de canal de 0.40m para efectos de facilitar la construcción y el mantenimiento a futuro.
- ✓ **Velocidad de aproximación (v<sub>a</sub>):** Para rejas de limpieza manual, la velocidad de aproximación debe oscilar entre 0.3 m/s y 0.6 m/s, por lo tanto, se selecciona para el diseño una v<sub>a</sub> = 0.45 m/s

- ✓ **Platinas:** Para el cribado se utilizarán platinas de ancho ( $w$ ) = 0.0254 m y espesor ( $e$ ) = 0.00476 m (Dimensiones comerciales).
- ✓ **Espaciamiento entre barras (b):** Para rejillas de limpieza manual, el espaciamiento entre barras deberá variar entre 0.15 mm y 50 mm, por lo tanto, se selecciona para el diseño un espaciamiento entre barras  $b = 15 \text{ mm} = 0.015\text{m}$ .
- ✓ **Ángulo de inclinación ( $\theta$ ):** Para rejillas de limpieza manual, el ángulo de inclinación de las barras oscila entre  $30^\circ$  y  $75^\circ$ . Para el diseño del cribado, se selecciona un ángulo de inclinación  $\theta = 45^\circ$
- ✓ **Factor de forma ( $\beta$ )** Para barras rectangulares se tiene un factor de forma  $\beta$  2.42



Forma	A	B	C	D	E	F	G
B	2,42	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79

### Modelo de cálculo:

- **Número de barras requeridas (Nb):**

El número de barras requeridas se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$Nb = \frac{a+b}{b+e}$$

Donde:

- Nb = Número de barras requeridas
- a = Ancho del canal de entrada en m
- b = Espaciamiento entre barras en m
- e = Espesor de las platinas en m

Por lo tanto, tenemos:

$$Nb = \frac{0,35m + 0,015m}{0,015m + 0,00476m} = 18,47 \approx 18 \text{ barras}$$

- **Número de espacio (Ne):**

El número de espacio se calcula, así:

$$Ne = Nb - 1$$

$$Ne = 18 \text{ barras} - 1 = 17 \text{ espacios}$$

- **Porcentaje de espacios libres (%EL):**

$$\%EL = \frac{Ne \times b}{(Ne \times b) + (Nb \times e)} \times 100\%$$

Donde:

- %EL = Porcentaje de espacios libres
- Ne = Número de espacios
- b = Espaciamiento entre barras en m
- e = Espesor de las platinas en m

Reemplazando en la anterior ecuación, tenemos:

$$\%EL = \frac{17 \text{ espacios} * 0,015m}{(17 \text{ espacios} * 0,015m) + (18 \text{ barras} * 0,00476m)} * 100\% = 74,85\%$$

- **Pérdida en la rejilla limpia (H):**

$$H = \beta \left( \frac{w}{b} \right)^{4/3} \left( \frac{v_a^2}{2g} \right) \text{sen} \alpha$$

Donde:

- H = Pérdida en la rejilla limpia en m

- $\beta$  = Factor de forma para barras rectangulares
- $w$  = Ancho de las platinas en m
- $b$  = Espaciamiento entre barras en m
- $v_a$  = Velocidad de aproximación en m/s
- $g$  = Aceleración de la gravedad en  $m/s^2$
- $\theta$  = Ángulo de inclinación

Reemplazando en la anterior ecuación se obtiene:

$$H = 2.42 * \left(\frac{0,0254m}{0,015m}\right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{(0,45m/s)^2}{2 * 9,81m/s^2}\right) \text{sen}45 = 0,035m \approx 3,56m$$

De acuerdo al RAS 2000, H debe ser menor de 75 cm, por lo tanto,  $3,56 \text{ cm} < 75 \text{ cm}$ .

- **Longitud de la rejilla ( $L_r$ ):**

La longitud de la rejilla se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$L_r = \frac{H_{\text{Total canal entrada}}}{\text{sen} \alpha}$$

Donde:

- $L_r$  = Longitud de la rejilla en m
- $H_{\text{Total canal entrada}}$  = Altura total del canal de entrada en m
- $\theta$  = Ángulo de inclinación

Por lo tanto, tenemos:

$$L_r = \frac{0.50m}{\text{sen}45} = 0.70 m$$

- **Velocidad en la rejilla ( $v_r$ ):**

$$v_r = \frac{v_a}{EL}$$

Donde:

- $v_r$  = Velocidad en la rejilla en m/s
- $v_a$  = Velocidad de aproximación en m/s
- EL = Espacios libres

Por lo tanto, reemplazando, tenemos:

$$v_r = \frac{0,45m/s}{0,7485} = 0,60m/s$$

- **Pérdida en la rejilla colmatada al 50% ( $H_{col}$ ):**

Las pérdidas en la rejilla colmatada en un 50% se calculan a partir del siguiente modelo:

$$H_{col} = \frac{1}{0.70} \frac{\left( \left( \frac{v_r}{Colmatación} \right)^2 - v_a^2 \right)}{2g}$$

Donde:

- $H_{col}$  = Pérdida en la rejilla colmatada al 50% en m
- $v_r$  = Velocidad en la rejilla en m/s
- Colmatación = 0.50
- $v_a$  = Velocidad de aproximación en m/s
- $g$  = Aceleración de la gravedad en  $m/s^2$

Reemplazando, tenemos:

$$H_{col} = \frac{1}{0.70} \frac{\left( \left( \frac{0.60 \text{ m/s}}{0.50} \right)^2 - (0.45 \text{ m/s})^2 \right)}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.09 \text{ m}$$

- **Verificación de la altura total del canal de entrada:**

La altura total del canal de entrada deberá ser mayor que la altura de la lámina de agua del canal más la pérdida en la rejilla colmatada al 50%, por lo tanto, tenemos:

$$\text{Altura lámina de agua} + \text{pérdida reja colmatada} = 0,134 \text{ m}$$

$$\text{Altura total del canal de entrada} = 0,5 \text{ m}$$

$$0,5 \text{ m} > 0,134 \text{ m}$$

Para efectos de construcción se toma una altura total del canal de entrada de 0,50m, a continuación se muestra las dimensiones estimadas.

Parámetro	Valor	Unidades	Observaciones
Unidades		2	1 en operación y 1 en mantenimiento
Velocidad de aproximación (Va)	0,45	m/s	Rejas de limpieza manual (0,3 m/s < Va < 0,6 m/s)
Ancho platina (w)	0,0254	m	Se adoptarán platinas
Espesor platina (e)	0,00476	m	Se adoptarán platinas
Espaciamento entre barras (b)	0,015	m	Rejas de limpieza manual (15 mm < b < 50 mm)
Ángulo de inclinación (a)	45	Grados (°)	Rejas de limpieza manual (30° < a < 75°)
Factor de forma (b)	2,42		Barras rectangulares
Número de barras requeridas (Nb)	18	Barras	
Número de espacios (Ne)	17	Espacios	
Espacios libres (%EL)	74,85	%	
Pérdida en la rejilla limpia (H)	0,035 3,56	m cm	De acuerdo al RAS/2000 H < 75 cm, por lo tanto 3,56 cm < 75 cm
Longitud de la rejilla (Lr)	0,70	m	

Parámetro	Valor	Unidades	Observaciones
Velocidad en la rejilla ( $v_r$ )	0,60	m/s	
Pérdida en la rejilla colmatada al 50% ( $H_{col}$ )	0,09	m	

*Tabla 4 Dimensiones sistema de rejillas*

### 6.2.2.3 Desarenador

**Criterios de diseño:** De acuerdo al RAS 2000

- **Número de unidades:** Se diseñarán dos unidades de desarenadoras, con el fin de tener una unidad en operación y la otra en mantenimiento.
- **Temperatura del agua:** La temperatura del agua es de 17,56°C
- **Densidad de la arena ( $\rho_{arena}$ ):** La densidad de la arena es de  $\rho=2\phi,65 \text{ g/cm}^3$
- **Diámetro de la arena ( $\phi_{arena}$ ):** Se tiene un diámetro promedio de la arena de  $\phi = 0,014 \text{ cm}$ .

**Modelo de cálculo:**

- **Viscosidad del agua ( $\mu$ )**

Se tiene como referencia para realizar la corrección de la viscosidad del agua por temperatura la viscosidad del agua a 10°C, por lo tanto, la viscosidad del agua a 17,56°C, será:

$$\mu_{20^\circ C} = \mu_{10^\circ C} \times \left( \frac{33.3}{T^\circ + 23.3} \right)$$

Donde:

- $\mu_{20^\circ C}$  = Viscosidad del agua a 10°C en  $\text{cm/s}^2$
- $\mu_{10^\circ C}$  = Viscosidad del agua a 24°C en  $\text{cm/s}^2$
- $T^\circ$  = Temperatura del agua en °C

Por lo tanto, reemplazando en la ecuación, tenemos que la viscosidad del agua a 17,56°C es de:

$$\mu_{17.56^{\circ}C} = 0,01309 * \left( \frac{33,3}{17,56^{\circ}C + 23,3} \right) = 0,0106cm/s^2$$

- **Velocidad de asentamiento ( $v_s$ ):**

$$v_s = \frac{g}{18} \left( \frac{\rho_{arena} - \rho_{agua}}{\mu_{17.56^{\circ}C}} \right) (dp)^2$$

Donde:

- ✓  $v_s$  = Velocidad de asentamiento en cm/s
- ✓  $\rho_{arena}$  = Densidad de la arena en g/cm<sup>3</sup>
- ✓  $\rho_{agua}$  = Densidad del agua en g/cm<sup>3</sup>
- ✓  $\mu_{17.56^{\circ}C}$  = Viscosidad del agua a 17.56°C en cm/s<sup>2</sup>
- ✓  $dp$  = Diámetro de la partícula de arena en cm

Reemplazando en la ecuación, tenemos:

$$v_s = \frac{981cm/s^2}{18} * \left( \frac{(2,65 - 1)g/cm^3}{0,0106cm/s^2} \right) * (0,014cm)^2$$

$$v_s = 1,57cm/s$$

- **Área superficial ( $A_s$ ):**

El área superficial del desarenador se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{Q}{v_s}$$

Donde:

- ✓  $A_s$  = Área superficial en  $m^2$
- ✓  $Q$  = Caudal de diseño en  $m^3/s$
- ✓  $v_s$  = Velocidad de asentamiento en  $m/s$

$$A_s = \frac{0,01m^3/s}{0,0157m/s} = 0,63m^2$$

- **Dimensionamiento del desarenador:**

El desarenador se diseñará con una relación Largo: Ancho = 2.5:1, por lo tanto, tenemos:

*Ancho del desarena:*  $a = \sqrt{\frac{A_s}{2.5}}$

$$a = \sqrt{\frac{0,63m^2}{2,5}} = 0,50m$$

*Largo del desarenador:*  $a = 2,5 * a$

$$a = 2,5 * 0,50m = 1,25m$$

- **Producción diaria de arena:**

Se adopta una tasa de producción diaria de arena de 40 l/día de arena por cada 2500  $m^3$ /día de agua tratada, por lo tanto:

$$\text{Producción diaria arena} = \frac{T_{prod\ arena} * Q}{2500m^3/día}$$

Donde:

Producción diaria de arena en l/día

- $T_{\text{prod arena}}$  = Tasa de producción diaria de arena en l/día
- $Q$  = Caudal en  $m^3/\text{día}$

Reemplazando en la ecuación, se tiene:

$$\text{Producción diaria arena} = \frac{40l/\text{día} * 0,864m^3/\text{día}}{2500m^3/\text{día}} = 0,014l/\text{día}$$

- **Producción diaria de arena:**

Se adopta limpieza semanal de arena, por lo tanto:

$$\text{Producción semanal arena} = \text{Producción diaria arena} * 7 \frac{\text{sem}}{\text{días}}$$

$$\text{Producción semanal arena} = \frac{0,014l}{\text{día}} * \frac{7\text{días}}{\text{sem}} = 0,098l/\text{sem}$$

- **Profundidad del desarenador (H):**

$$H = \frac{\text{Producción semanal arena}}{As}$$

Donde:

- ✓  $H$  = Profundidad del desarenador en m
- ✓ Producción semanal de arena en  $m^3/\text{sem}$
- ✓  $As$  = Área superficial en  $m^2$

Reemplazando en la ecuación, se tiene que la profundidad del desarenador será:

$$H = \frac{0,098m^3/día}{0,63m^2} = 0,15m$$

Por lo tanto, a continuación se presentan los resultados obtenidos para el diseño del desarenador de la PTAR

<b>DESARENADOR</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Observaciones</b>
Caudal de diseño	0,01	m <sup>3</sup> /s	
	0,864	m <sup>3</sup> /día	
Dos unidades			1 en operación y 1 en mantenimiento
Temperatura del agua promedio	17,56	°C	Según análisis fisicoquímicos Asinal S.A.S
Densidad de la arena (arena)	2,65	g/cm <sup>3</sup>	
Diámetro de la arena	0,014	cm	
Viscosidad del agua a 10°C	0,01309	cm/s <sup>2</sup>	Estándar
Corrección de la viscosidad a 17.56°C	0,0106	cm/s <sup>2</sup>	
Velocidad de asentamiento (Vs)	1,57	cm/s	
	0,0157	m/s	
Área superficial (As)	0,63	m <sup>2</sup>	
Ancho del desarenador (a)	0,50	m	Relación Largo : Ancho = 2.5:1
Largo del desarenador (L)	1,25	m	Relación Largo : Ancho = 2.5:1
Producción diaria de arena	0,014	l/día	Se adopta una tasa de producción de diaria de arena de 40 l/día de arena por cada 2500 m <sup>3</sup> /día
Producción semanal de arena	0,098	l/semana	Se adopta limpieza semanal de arena
Profundidad del desarenador (H)	0,20	m	

*Tabla 5 Calculo dimensiones desarenador*

<b>DIMENSIONES DEL DESARENADOR</b>	
Longitud (m)	1,10
Ancho (m)	0,4

Profundidad (m)	0,20
-----------------	------

*Tabla 6 Dimensiones desarenador*

Se asume las dimensiones relacionadas anteriormente para facilitar la construcción del sistema de pretratamiento y mejorar la capacidad de retención de arenas.

### 6.3 Tanque de Igualación

La PTAR tiene una capacidad de tratamiento de 3lps, es necesario diseñar un tanque de igualación para controlar el caudal máximo horario que es de 6,63lps.

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

$$V = 6,63l/s * 3600s$$

$$V = 23868l \rightarrow 23,86m^3$$

Dimensiones

$$l = \sqrt[3]{23,86m^3}$$

$$l = 2,87m$$

Si se dimensiona cúbicamente el tanque tendría una medida de 2,7m en sus lados, sin embargo para efectos constructivos y de forma se adoptan las siguientes medidas conservando el volumen requerido para el QMH.

<b>Dimensiones tanque de Igualación</b>	
Largo	3,0m
Ancho	3,0m
Altura	2,75m

*Tabla 7 Dimensiones tanque de Igualación*

El tanque de Igualación contará con una bomba sumergible ubicada interiormente en una cajilla de achique para garantizar el flujo de agua hacia el sistema de tratamiento final.

## 6.4 CALCULO HIDRAULICO TUBERÍA PVC A TUBO LLENO

### 6.4.1 Selección dimensión tubería de bombeo

Para los cálculos hidráulicos de tuberías existe gran diversidad de fórmulas; Manning, Darcy-Weisbach y Chezy. Para este caso se aplicará la fórmula de Magnning.

#### Fórmula de Manning

Por lo general la fórmula de Manning se ha usado para canales, en tuberías la fórmula se usa para canal circular parcial y totalmente lleno., la fórmula es como sigue aplicada a tubos:

$$v = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S^{1/2}$$

$v$  = Velocidad del flujo (m/s)

$n$  = Coeficiente de rugosidad (adimensional)

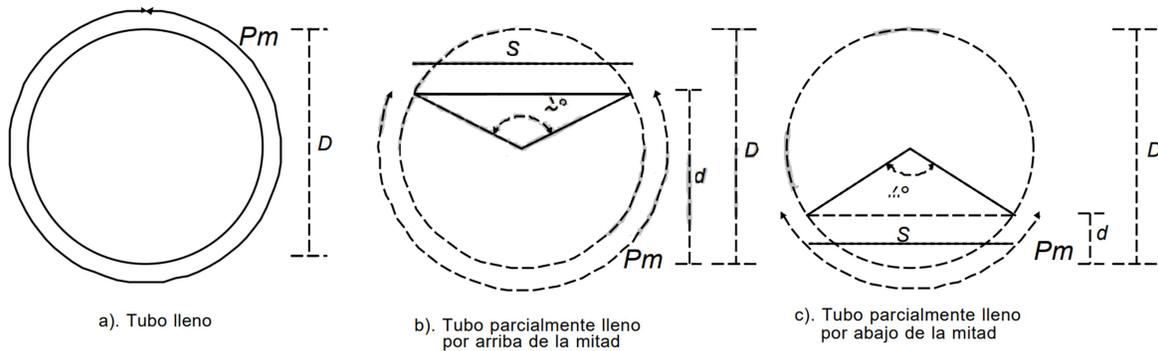
$S$  = Pendiente del tubo (m/m)

$Rh$  = Radio hidráulico (m)

$$Rh = \frac{A}{Pm}$$

$A$  = Área del tubo (m<sup>2</sup>)

$Pm$  = Perímetro mojado (m)



El caudal es igual al producto del área por velocidad, esto es:

$$Q = v * A$$

$$Q = \frac{A}{n} R h^{2/3} S^{1/2}$$

$Q =$  Gasto en ( $m^3/s$ )

$n =$  Coeficiente de rugosidad (adimensional)

$S =$  Pendiente del tubo (m/m)

$Rh =$  Radio hidráulico (m)

Para tubo completamente lleno el área, el perímetro y el radio hidráulico quedan definidos de la siguiente manera:

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

$$Pm = \pi * D$$

$$Rh = \frac{A}{Pm} = \frac{\left(\frac{\pi * D^2}{4}\right)}{\pi * D} = \frac{D}{4}$$

Donde:

$$\pi = 3.1415927$$

$D =$  Diámetro interno de la tubería (m)

La fórmula de Manning para tubo completamente lleno es la siguiente:

$$Q = \frac{A}{n} \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} S^{1/2}$$

Seleccionando una tubería de 3 pulgadas para el bombeo, se determina la capacidad que tiene para transportar agua, medido en gasto o caudal.

Velocidad del agua en el tubo

- $n$ : 0.009
- $\phi$  interno del tubo: 0.088
- Pendiente: 0.02m/m

$$v = \frac{1}{0.009} \left(\frac{0.088}{4}\right)^{2/3} (0.02)^{1/2}$$

$$v = 1.23 \text{ m/s}$$

$$Q = \frac{\pi * (0.088)^2}{4} * 1.23 * 1000$$

$$Q = 7,48 \text{ l/s}$$

### Conclusión

La tubería seleccionada de 3 pulgadas presión, según el método de Manning tiene la suficiente capacidad para transportar 3lps, con una capacidad total de 7,48lps. Siendo factible la utilización de este diámetro para transportar el agua residual del área de pretratamiento a la PTAR.

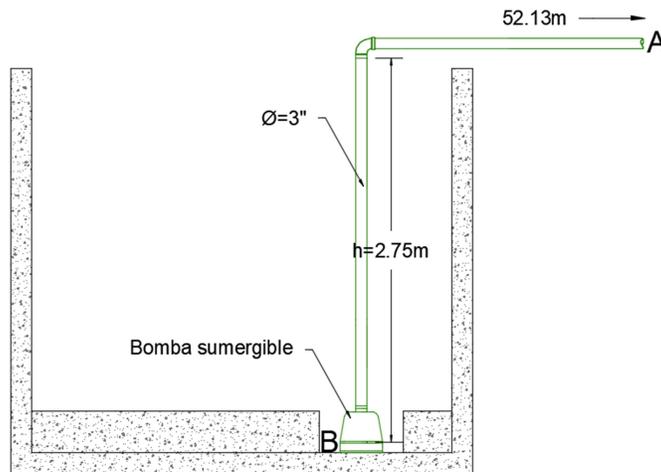
#### **6.4.2 Cálculo presión de la bomba**

Caudal de bombeo 3l/s

$H=2,75\text{m}$

$$Z_A = 2.75m$$

$$Z_B = 0m$$



Gráfica 2 Sistema de Bombeo

$$\frac{V_A^2}{2g} + \frac{P_A}{\rho g} + Z_A = \frac{V_B^2}{2g} + \frac{P_B}{\rho g} + Z_B$$

$$\frac{V_A^2}{2g} = \frac{V_B^2}{2g}$$

$$P_A = P_{atm} \quad P_B = P_{atm} + P_{Bomba}$$

$$\frac{P_{atm}}{\rho g} + Z_A = \frac{P_{atm}}{\rho g} + \frac{P_{bomba}}{\rho g} + Z_B \rightarrow P_{bomba} = \rho * g * (Z_A - Z_B)$$

$$P_{bomba} = 997kg/m^3 * 9,81m/s * (2,75m - 0m)$$

$$P_{bomba} = 26.896,56 Pa$$

#### 6.4.3 Cálculo pérdida de fricción en la tubería

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

$$v = \frac{4 * 0,003}{\pi * (0,088)^2} = 0,49m/s$$

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

$$R_e = \frac{VD\rho}{\mu}$$

$$R_e = \frac{0,49m/s * 0.088m * 998kg/m^3}{1,005x10^{-3}Pa * s} = 42.819,66$$

$R_e = > 4000$  Flujo turbulento

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0015mm}{88mm} = 1,70x10^{-5}$$

$$F = \frac{1,325}{\left\{ -\ln \left[ \frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{(Re)^{0,9}} \right] \right\}^2}$$

$$F = \frac{1,325}{\left\{ -\ln \left[ \frac{1,70x10^{-5}}{3,7} + \frac{5,74}{(42.819,66)^{0,9}} \right] \right\}^2}$$

$$F = 8,77x10^{-3}$$

#### 6.4.4 Pérdida total en el sistema

$$h_{f A \rightarrow B} = \frac{V_3^2}{2g} \left[ F \frac{L}{D} + \sum k_c + k_v \right]$$

$$h_{f A \rightarrow B} = \frac{(0,49\text{m/s})^2}{2 * 9,81\text{m/s}^2} \left[ 8,77 \times 10^{-3} * \frac{52,13\text{m}}{0,088\text{m}} + (0,9 * 7) + 10 \right]$$

$$h_{f A \rightarrow B} = 0,26\text{m}$$

#### 6.4.5 Carga total de la bomba

$$h_B = h + \frac{V_3^2}{2g} + h_{f A \rightarrow B}$$

$$h_B = 2,75\text{m} + \frac{0,49}{2g} + 0,26\text{m}$$

$$h_B = 3,0\text{m}$$

#### 6.4.6 Calculo potencia de la bomba

$$P_B(\text{hp}) = \frac{Q \rho g h_B}{746_e}$$

$$P_B(\text{hp}) = \frac{(0,003) * (998) * (9.81) * (3,0)}{746 * (0,75)}$$

$$P_B(\text{hp}) = 0,15\text{hp}$$

### Conclusión

La bomba sumergible necesaria para transportar 3lps tiene que tener una potencia de ½ o 1hp de fuerza, suficiente para realizar este trabajo, ya que la potencia necesitada en el bombeo es de 0,15hp.

### 6.5 Planta de Tratamiento de Agua Residual PTAR

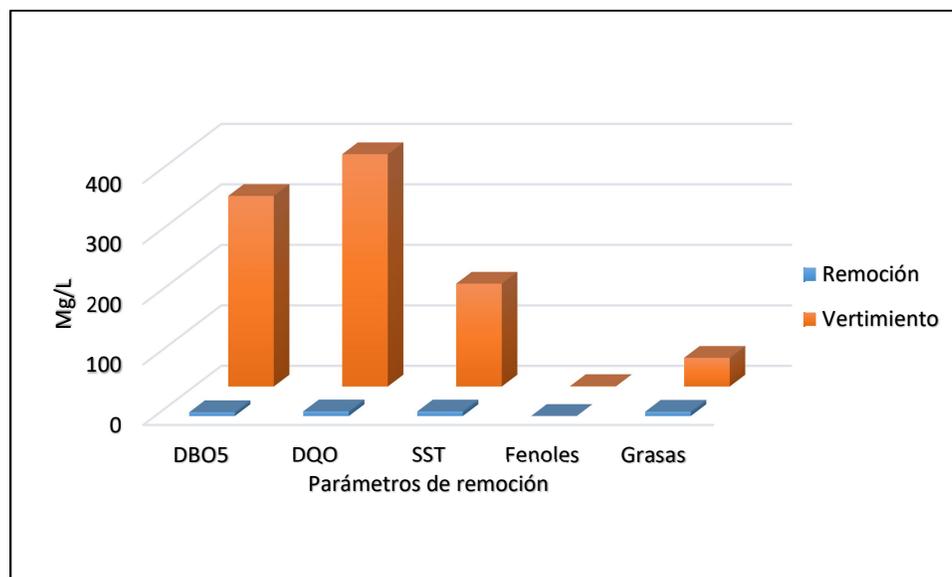
La planta está conformada por un tratamiento combinado de 4 cámaras o áreas de remoción y depuración de agua residual. El agua procedente del HUS será sometida a procesos biológicos, físicos y químicos teniendo en cuenta los siguientes parámetros de remoción diseñados para cada uno de los componentes de la PTAR.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL HOSPITAL UNIVERSITARIO LA SAMARITANA	COMPONENTES DE TRATAMIENTO	ELEMENTOS	UNIDADES	VALORES
	PAMETROS A REMOVER	Caudal de diseño		L/s
DBO5			mg/L	315
DQO			mg/L	384
SST			mg/L	170
Fenoles			mg/L	0,71
Grasas y Aceites			mg/L	47,43
CAMARA ANAEROBIA	Diámetro		m	2,90
	Radio		m	1,45
	Longitud		m	3,00
	Volumen		m <sup>3</sup>	19,81
	Rosetones Floccor		m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	2000
	Área contacto bacterias		m <sup>2</sup>	27727,77
	Degradación materia orgánica		%	80
	Sedimentación primaria		%	75
	Retención de grasas y fenoles		%	85
	DBO5		mg/L	63
	DQO		mg/L	76,8
	SST		mg/L	42,5
	Fenoles		mg/L	0,1065
	Grasas y Aceites		mg/L	7,1145
CAMARA AEROBIA	Diámetro		m	2,90
	Radio		m	1,45
	Longitud		m	3,00
	Volumen		m <sup>3</sup>	19,81
	Floccor RS		m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	33000
	Área contacto bacterias		m <sup>2</sup>	457508,21
	Porcentaje degradación de materia		%	90

		<b>DBO5</b>	<b>mg/L</b>	<b>6,3</b>
		<b>DQO</b>	<b>mg/L</b>	<b>7,68</b>
	CAMARA DE DECANTACIÓN Y CLARIFICACIÓN	Diámetro	m	2,90
		Radio	m	1,45
		Longitud	m	0,5
		Floculación	gr/ m <sup>3</sup>	25 a 250
		Sedimentación Secundaria	%	90
		SST	mg/L	7,5
	CAMARA DE PERFECCIONAMIENTO	Diámetro	m	2,90
		Radio	m	1,45
		Longitud	m	0,5
		Filtro con malla en acero inoxidable	mm	2
		Filtro multicapa	und	2
		Filtro reactor ultravioleta	%	99,9
		Eliminación de metales pesados	%	90
	REMOCIÓN LOGRADA	Desinfección	gr/ m <sup>3</sup>	3 a 5
		DBO5	mg/L	6,3
		DQO	mg/L	7,68
SST		mg/L	7,5	
Fenoles		mg/L	0,1065	
	Grasas y Aceites	mg/L	7,11	

**Tabla 8 Memoria de cálculo PTAR HUS**

Como se observa en la tabla 8 la Planta de Tratamiento de Agua Residual logrará una remoción superior al 90% en los elementos que actualmente el vertimiento del Hospital Universitario La Samaritana no está cumpliendo. La reducción de las concentraciones del contaminante a través de procesos biológicos, físicos y químicos se puede observar en la siguiente gráfica.



*Gráfica 3 Eficiencia PTAR HUS*

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Ferreira LA Rosa A.M., Moschem Tolfo A., Olinto Monteggia L., Nascimento de Almeida M.M., da Silva Ortolan M., Genro Bins M.J., de Almeida Bendati M.M. y 30 Raya Rodríguez M.T. (2000): Gestao de efluentes de serviços de saúde em Porto Alegre. Anais XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre, Brasil.
- ✓ Pruess A., Giroult E. Y Rushbrook P. (1998): Safe management of wastes from health-care activities. The World Health Organization (WHO). Washington DC.
- ✓ Rezaee, A; Ansari, M.; Khavanin, A; Sabzali, A and Aryan, M.M. (2005). “Digestión Hospital wastewater treatment using an integrated anaerobic aerobic fixed film bioreactor”.
- ✓ Duarte C. (2013) Tratamiento de Agua Residual Hospitalaria Previamente Ozonizada Utilizando un Reactor Anaerobio de Lecho Fijo. Pág 11,12.
- ✓ Decreto 4741 (2005) Por el cual se reglamente parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Pág 24.
- ✓ RAS (2000) Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Título E, Tratamiento de Aguas Residuales. Pág. 15,16.
- ✓ RAS (2016) Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Título D, Sistema de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias. Pág. 57.
- ✓ RAS (2010) Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Título B, Sistema de Acueducto. Pág. 38,39.
- ✓ Resolución 330 de 2017 “Por la Cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”.
- ✓ Resolución 631 (2015). Por la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. MINAMBIENTE Colombia.
- ✓ Rodríguez-Mozaz; (2014) “Occurrence of antibiotics and antibiotic resistance genes in hospital and urban wastewaters and their impact on the receiving river” (Presencia de antibióticos y de genes de resistencia en aguas residuales de hospital y de una depuradora urbana y su impacto en el río)”. Pag 91.



**ESTUDIO DISEÑO PTAR PARA EL  
HOSPITAL UNIVERSITARIO LA  
SAMARITANA**

