

**DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA  
LA INSPECCIÓN MUNICIPAL DE SAN JOAQUÍN EN EL MUNICIPIO DE LA  
MESA - CUNDINAMARCA**

**OSCAR ELÍAS CABRERA MARTÍNEZ  
ELIZABETH JOHANNA SANABRIA RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
2017**

**DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA  
LA INSPECCIÓN MUNICIPAL DE SAN JOAQUÍN EN EL MUNICIPIO DE LA  
MESA - CUNDINAMARCA**

**TRABAJO DE GRADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO  
DE INGENIERÍA CIVIL**

**OSCAR ELÍAS CABRERA MARTÍNEZ  
ELIZABETH JOHANNA SANABRIA RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
2017**

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	10
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
3. JUSTIFICACIÓN.....	13
4. OBJETIVOS.....	14
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	14
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
5. . ANTECEDENTES.....	15
6. MARCOS DE REFERENCIA .....	18
6.1 MARCO HISTÓRICO .....	18
6.1.1 ACUEDUCTO DE SAN JOAQUIN.....	18
6.2 MARCO CONCEPTUAL.....	19
6.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES .....	19
6.2.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS .....	19
6.2.1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.....	23
6.2.1.3 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS .....	30
6.2.2 TEORÍA DE LOS SISTEMAS DE AGUAS RESIDUALES .....	33
6.2.2.1 DEFINICIÓN .....	33
6.2.2.2 ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	33
5.2.2.3 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES.....	34
6.2.2.4 ASPECTOS DE LAS AGUAS RESIDUALES .....	34
6.2.2.5 TIPOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	35
6.2.2.6 TIPOS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
38	
6.3. MARCO GEOGRÁFICO .....	43
6.3.1 GENERALIDADES .....	43
6.3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	43
6.3.1.2 COMPOSICIÓN ADMINISTRATIVA .....	45
6.3.1.3 COMPOSICIÓN POLÍTICA.....	45
6.3.1.4 INSTITUCIONES DE SERVICIO .....	45
6.3.1.3 RELIEVE.....	49
6.3.1.4 HIDROLOGÍA .....	49

6.3.1.5 CLIMA.....	49
6.3.1.6 INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS .....	50
6.4 MARCO LEGAL .....	51
6.4.1 NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS.....	51
6.4.1.1 GESTIÓN AMBIENTAL CALIDAD DE AGUA.....	51
6.4.1.2 GTC 31 GUIA PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE TOXICIDAD EN ORGANISMOS ACUÁTICOS.....	51
6.4.2 CONSTITUCIÓN, LEYES, DECRETOS Y RESOLUCIONES .....	51
6.4.2.1 REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO (RAS- 2000) SECCIÓN II TITULO E .....	51
6.4.2.2 RESOLUCIÓN 0631 DE 2015 POR EL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE.....	52
6.4.2.3 CONPES 3177 DE 2002.....	52
6.4.2.4 MARCO CONSTITUCIONAL DE 1991 .....	52
6.4.2.5 DECRETO 1594 DE 1984 .....	53
6.4.2.6 LEY 9 DE 1979 .....	53
6.4.2.7 DECRETO 2811 DE 1974 .....	53
7. DISEÑO METODOLÓGICO.....	54
7.1 LÍNEA Y SUBLINEA.....	54
7.2 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN.....	54
7.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	54
7.4 FASES.....	54
8. RESULTADOS.....	56
8.1 VERIFICACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO DEL MUNICIPIO OBJETO DE ESTUDIO .....	56
8.2 DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA DEL SERVICIO DE ALCANTARILLADO, A TRAVÉS DE ENCUESTAS.....	56
8.3 DETERMINACIÓN DE POBLACIÓN PROYECTADA Y DEMANDA DE AGUA DEL ACUEDUCTO.....	62
8.4 PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL VERTIMIENTO EXISTENTE POR MEDIO DE UN ALIVIADERO .....	76
8. DISEÑO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	98
8.1 CÁLCULO DEL CANAL DE ENTRADA .....	99
8.2 DISEÑO DE LAS REJILLAS .....	101
8.2.1 CÁLCULO DE ÁREA LIBRE ( $A_L$ ).....	102

8.2.2	COMPROBACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARGA $\leq$ 15 CM EN LAS REJILLAS .....	105
8.3	DISEÑO DEL DESARENADOR .....	106
8.4	DETERMINACIÓN DE LA CANALETA PARSHALL .....	110
8.5	SEDIMENTADOR CIRCULAR PRIMARIO.....	114
8.5.1	FUNDAMENTOS DEL DISEÑO.....	114
8.5.1.1	REMOCIÓN DE LA DBO Y SST.....	115
8.5.1.2	TIEMPO DE RETENCIÓN Y CARGAS SUPERFICIALES .....	116
8.5.1.3	VELOCIDAD DE ARRASTRE.....	116
8.6	DIMENSIONES DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO.....	117
8.6.1	ÁREA SUPERFICIAL.....	117
8.6.2	CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL TANQUE SEDIMENTADOR.....	118
8.6.3	CÁLCULO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN .....	119
8.6.4	CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE ARRASTRE.....	119
8.6.5	CÁLCULO DE LA REMOCIÓN DE DBO Y SST .....	120
8.7	DIMENSIONES DE LOS FILTROS PERCOLADORES .....	120
8.8	TRATAMIENTO DE LODOS .....	129
8.8.1	DIGESTOR DE LODOS.....	129
8.8.1.1	DIMENSIONAMIENTO .....	129
8.8.2	CÁLCULO DEL VOLUMEN NECESARIO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL TANQUE DIGESTOR.....	130
8.8.2.1	CÁLCULO DEL DIÁMETRO PARA EL TANQUE DIGESTOR .....	130
8.8.3	PATIO DE SECADO DE LODOS .....	131
9.	CONCLUSIONES .....	134
10.	RECOMENDACIONES.....	135
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	136

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Carga de vertimientos a la fuente receptora .....	17
Tabla 2. Verificación de la situación actual del sistema de alcantarillado sanitario. .....	56
Tabla 3. Tipo de Vivienda .....	56
Tabla 4. Condición de estado de la vivienda .....	57
Tabla 5. Uso de la Vivienda.....	57
Tabla 6. Vivienda con conexión al alcantarillado .....	58
Tabla 7. Suministro de agua a las viviendas .....	59
Tabla 8. Salida de las Aguas Residuales.....	59
Tabla 9. Número de personas que residen en las casas .....	60
Tabla 10. Número de personas visitantes en las casas .....	61
Tabla 11. Tiempo que duran las personas visitantes.....	61
Tabla 12 Proyección de población por medio de los métodos aritmético, geométrico y exponencial .....	62
Tabla 13. Contribución Industrial .....	67
Tabla 14. Contribución comercial .....	67
Tabla 15. Contribución Institucional mínima en zonas residenciales .....	68
Tabla 16. Aportes máximos por drenaje domiciliario de aguas lluvias sin sistema pluvial .....	69
Tabla 17. Aportes por infiltración en redes de sistema de recolección y evacuación de aguas residuales.....	69
Tabla 18. Precipitaciones máximas (mm) estación pluviométrica Honduras en La Mesa - Cundinamarca .....	71
Tabla 19. Duración - precipitación .....	72
Tabla 20. Coeficiente de escorrentía .....	73
Tabla 21. Información usual para el diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual.....	101
Tabla 22. Clasificación de materiales en suspensión según el tamaño.....	106
Tabla 23. Viscosidad del agua a la temperatura del agua .....	107
Tabla 24. Valores de $a/t$ .....	107
Tabla 25. Dimensiones típicas de medidores Parshall (cm).....	111
Tabla 26. Límites de aplicación. Medidores Parshall con descarga libre. ....	113
Tabla 27. Valores del exponente $n$ y del coeficiente $K$ .....	113
Tabla 28. Valores de las constantes empíricas $a$ y $b$ .....	115
Tabla 29. Información típica para el diseño de tanques de sedimentación primario. .....	116
Tabla 30. Información típica de diseño para filtros percoladores.....	121
Tabla 31. Producción de lodos en litros por persona por día.....	129
Tabla 32. Digestión discontinua de los lodos sedimentación libre a diferentes temperaturas .....	130

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área Geográfica de La Mesa y San Joaquín .....	43
Figura 2. Veredas que limitan con San Joaquín .....	44
Figura 3. Veredas que limitan con San Joaquín .....	44
Figura 4. Fotografía Institución Educativa Departamental de San Joaquín .....	45
Figura 5. Centro de Salud San Joaquín .....	46
Figura 6. Iglesia Católica y Cristiana respectivamente. ....	46
Figura 7. Cancha deportiva .....	47
Figura 8. Cancha deportiva.....	47
Figura 9. Plaza de Toros.....	48
Figura 10. Plaza de Mercado .....	48
Figura 11. Plaza de Mercado .....	49
Figura 12. Vertimiento directo al río. (25 de Marzo de 2016).....	58
Figura 13. Aguas residuales que provienen de la tubería mayor vertidas al río Apulo .....	60
Figura 14. Tramo 36 – Aliviadero .....	76
Figura 15. Esquema Aliviadero .....	84
Figura 16. Área 1: Casco urbano mayor .....	98
Figura 17. Área 2: Casco urbano menor .....	98
Figura 18. Esquema aliviadero - pozo de inspección.....	99
Figura 19. Detalle sección transversal del canal de entrada.....	101
Figura 20. Disposición de las varillas.....	105
Figura 21. Dimensiones del desarenador .....	109
Figura 22. Dimensiones de la canaleta Parshall.....	110
Figura 23. Remoción de DBO y SST en tanques de sedimentación primaria. ....	115
Figura 24. Diagrama de flujo típicos simplificados para los procesos biológicos utilizados en el tratamiento de aguas residuales .....	128

## ANEXOS

Anexo A. Plano Inspección Municipal del San Joaquín.....	142
Anexo B. Plano Pozo de Inspección prefabricado.....	143
Anexo C. Plano Desarenador.....	145
Anexo D. Plano Canaleta Parshall .....	146
Anexo E. Plano Planta de Tratamiento de aguas residuales.....	147
Anexo F. Instrumentos de recolección de información .....	148



## SISTEMA DE UNIDADES

min.	Minuto
S	Segundo
Año	Año
cm <sup>2</sup>	centímetro cuadrado
cm <sup>3</sup>	centímetro cúbico
Día	Día
G	Gramo
H	Hora
Ha	Hectárea
Hab	Habitante
Kg	Kilogramo
Km	Kilómetro
Kw	Kilowattio
L	Litro
M	Metro
m <sup>2</sup>	metro cuadrado
m <sup>3</sup>	metro cúbico
Mg	Miligramo
Min	Minuto
Mm	Micra
Mm	Milímetro
N	Newton
°	Grados
°C	grados Celsius
Pa	Pascal
Rad	Radián
T	Tonelada
W	Wattio

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos los cuales pueden atraer cuerpos contaminantes que se encuentran presentes en el agua al ser entregada a los seres humanos. El objetivo de dichos procesos es el suministro de agua tratada que pueda ser reutilizable para mejorar el uso diario.

En el lugar de estudio “La Inspección Municipal de San Joaquín en el municipio de la Mesa – Cundinamarca”, cuya concentración poblacional en la zona genera una demanda la cual produce un caudal de aguas residuales que tienen diferentes zonas de descarga, en algunos casos influye a la contaminación del río directamente. A medida que los requerimientos de descarga se hacen más inflexibles, se propone un sistema de alcantarillado y la instalación de una planta de tratamiento de agua residual para un desarrollo que transforme las condiciones ambientales.

La finalidad de este proyecto, de acuerdo con la normatividad es obtener unas aguas con las características adecuadas al uso normal de río, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función de las propiedades. Debido a que las mayores exigencias en lo referente a la calidad del agua se centran en su aplicación para el consumo humano y animal, estos se organizan con frecuencia en tratamientos de potabilización y tratamientos de depuración de aguas residuales.

## **1. DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA INSPECCIÓN MUNICIPAL DE SAN JOAQUÍN EN EL MUNICIPIO DE LA MESA - CUNDINAMARCA**

### **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Conscientes de la extrema importancia del agua para la vida y el desarrollo de los seres vivos, indispensable para la inmensa mayoría de las actividades económicas; se han dedicado varios esfuerzos en materializar un sistema de tratamiento de aguas residuales que permita, aún en condiciones extremas, tratar agua de cualquier fuente a costos razonables, tanto en la inversión inicial como en los costos de operación. Los principales criterios para desarrollar el sistema de tratamiento de aguas residuales son: la calidad del agua que se entrega al usuario, la eficiencia y eficacia del sistema de tratamiento tipo biológico, los costos y la facilidad de implementación.

En algunos municipios de Colombia el tratamiento de aguas residuales es escaso, un claro ejemplo es el municipio de San Joaquín – La Mesa (Cundinamarca) donde no se presenta un manejo adecuado de las aguas residuales de esta población. Estas aguas al momento de ser vertidas desembocan en una fuente hídrica importante llamada Río Apulo impidiendo el uso de este recurso para los municipios ubicados aguas abajo de dicha fuente.

Por tal razón, es necesario plantear un diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales en la Inspección Municipal de San Joaquín – La Mesa (Cundinamarca) con el fin de mejorar la calidad del agua del río ya que esta fuente hídrica se podría utilizar para el abastecimiento diario o como de recreación para los habitantes y visitantes de la zona.

La sub cuenca hídrica cuenta con una demanda de 2,42 m<sup>3</sup>/s principalmente en el sector agrícola (88,4%) ya que es utilizada para el riego de las diferentes frutas que se dan en la región como mango, maracuyá, naranja, mandarina, limón. La calidad del agua aguas arriba no se ve afectada por el uso humano por lo que se puede hablar de una calidad del agua buena que se altera o contamina al pasar por la inspección municipal.

El problema con el alcantarillado existente en el municipio es que combina tanto el sistema sanitario con el sistema pluvial y esto dificulta su tratamiento posterior y causa serios problemas de contaminación al verterse a cauces naturales como también enfermedades o infecciones.

Por lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

## **2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es el diseño adecuado de la planta de tratamiento de aguas residuales para la inspección municipal de San Joaquín en la Mesa Cundinamarca?

### 3. JUSTIFICACIÓN

El agua, considerada elemental para la sostenibilidad da la posibilidad del desarrollo de distintas formas de vida. Por ende es esencial tanto para vegetales, animales y seres humanos, teniendo en cuenta que la superficie de nuestro planeta está constituida en gran porcentaje por agua.

Debido al desarrollo de las zonas urbanas y rurales, se ve necesaria una demanda de abastecimiento de agua potable que satisfaga las necesidades básicas de la población y también de las actividades diarias. Como consecuencia se presenta el problema de vertimiento de las aguas residuales siendo necesarias tanto la construcción de un alcantarillado sanitario como la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Las aguas residuales constituyen un porcentaje de las aguas de abastecimiento después de haber pasado por las diferentes actividades de una población. Estos desechos líquidos se componen fundamentalmente de agua con elementos sólidos orgánicos e inorgánicos. Si las aguas residuales no se controlan adecuadamente pueden generar impactos ambientales severos incluso hasta irreversibles.

Considerando que tanto la Alcaldía Municipal como la Empresa de Servicios públicos de la Región han iniciado esfuerzos para tratar apropiadamente las aguas residuales domésticas de la zona urbana y rural promoviendo el crecimiento económico de la población, se propone elaborar el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales con el propósito específico de mejorar las condiciones de la fuente receptora de estas aguas.

Se busca que la inspección municipal de San Joaquín – La Mesa sea un lugar agradable y con mejor calidad de vida para las que habitan el municipio y sus nuevas generaciones. También se busca mejorar la calidad del agua a través de su tratamiento ya que esta sub-cuenca del río Bogotá puede ser utilizada como fuente de recreación y esparcimiento, tanto de los residentes como de los visitantes.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar la planta de tratamiento de aguas residuales para el casco urbano de San Joaquín inspección municipal de La Mesa en Cundinamarca.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Verificar la situación actual del sistema de alcantarillado sanitario del Municipio objeto de estudio.
- Determinar la cobertura del servicio de alcantarillado, a través de encuestas.
- Cuantificar el caudal de la fuente receptora para el diseño de la PTAR.
- Proponer un ajuste en el sistema de alcantarillado existente a un solo vertimiento final para realizar la PTAR.

## 5. . ANTECEDENTES

Este proyecto está basado en diferentes investigaciones que se han encontrado a lo largo del proceso académico. A continuación, se presentan algunos antecedentes a este estudio.

En primer lugar, los ingenieros Rene Eduardo Fuentes Treminio, Esther Elizabeth Melgar Rosa y Ludwin Adanil Pineda Gómez<sup>1</sup> realizaron una propuesta de diseño de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Jocoro en el departamento de Morazán en El Salvador en enero de 2011. Este trabajo, capítulo a capítulo, propone una guía de los diferentes marcos, conceptos, procesos y definiciones generales que se debe conocer para abordar el tema de las aguas residuales y de las plantas de tratamiento, también pretende que con la construcción de la PTAR disminuya los índices de contaminación ambiental y de las enfermedades que las aguas residuales pueden ocasionar.

En segundo lugar, el ingeniero Ramón Enrique Espinoza Paz<sup>2</sup> realiza el proyecto llamado “Planta de tratamiento de Aguas Residuales en San Juan de Miraflores” en el Distrito de San Juan de Miraflores departamento de Lima en Perú en el año 2010. El documento presenta cómo ampliar y cambiar el sistema de tratamiento en dicha localidad, también cómo conservar el entorno ecológico y como incrementar la cobertura a largo plazo de la planta de tratamiento.

En tercer lugar, los ingenieros José Luis González Manosalva, Roberto Mejía Ruíz y Francisco Molina Pérez<sup>3</sup> realizaron un artículo para la Revista Ingenierías Universidad de Medellín llamado “diseño conceptual de una estación experimental de tratamiento de aguas residuales domésticas orientada a municipios con población menor a 30.000 habitantes” publicado en octubre de 2012 y presenta el diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales donde integra algunos esquemas de tratamiento tanto convencionales como no convencionales con una disposición final del efluente a un cuerpo de agua, cumpliendo con la normativa vigente en Colombia.

A nivel local, en el municipio La Mesa, se radicó en Empresas Públicas de Cundinamarca S.A. E.S.P. el 17 de septiembre de 2012 los estudios y diseños

---

<sup>1</sup> FUENTES TREMINIO, Rene Eduardo; MELGAR ROSA, Esther Elizabeth y PINEDA GÓMEZ, Ludwin Adanil. Propuesta de diseño de planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Jocoro, departamento de Morazán. San Miguel, El Salvador. 2011. P. 1.

<sup>2</sup> ESPINOZA PAZ, Ramón Enrique. Planta de tratamiento de aguas residuales en San Juan de Miraflores.2010. p.1

<sup>3</sup> GONZÁLEZ MANOSALVA, José Luis; MEJÍA RUIZ, Roberto y MOLINA PÉREZ, Francisco. Diseño conceptual de una estación experimental de tratamiento de aguas residuales domésticas orientada a municipios con población menor a 30.000 habitantes. 2012, vol. 11, no. 21, pp. 87-100.

para la “CONSTRUCCIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CENTRO POBLADO SAN JOAQUÍN MUNICIPIO DE LA MESA”. A partir de la fecha de radicado, el proyecto entró en un proceso de revisión por parte de la Empresa y ajustes por parte del Municipio, teniendo como resultado cuatro listas de chequeo emitidas considerando en términos generales observaciones importantes como realizar un ajuste al diseño con base a la norma NSR-2010, la Resolución 2320 de 2009 (RAS – 2000), ajuste al presupuesto, topografía del terreno, caracterización de vertimientos y de la fuente receptora”<sup>4</sup>. De igual forma, el Plan de Desarrollo Cundinamarca Calidad de Vida (2012-2016) aprobado, tiene como objetivo en el programa: AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO PARA LA SALUD DE LOS CUNDINAMARQUESES, cuyo objetivo es “Incrementar la calidad, continuidad y cobertura de agua potable y saneamiento básico en zonas urbanas, centros poblados y zonas rurales, garantizando con preferencia el acceso a la población en condiciones de pobreza y vulnerabilidad”<sup>5</sup>.

Después de adjudicar el contrato en la empresa correspondiente, “solicita al interventor una prórroga de dos meses teniendo en cuenta las siguientes razones: una vez revisada la información de los diseños de la planta de tratamiento del centro poblado de San Joaquín en la etapa de diagnóstico, se evidenció: inconsistencias en los diseños estructurales con respecto a la NSR -10, la inexistencia de los estudios del suelo”<sup>6</sup>.

Lo anterior evidencia la falta de información y de compromiso por ausencia del contratista y la empresa responsable del desarrollo del proyecto por lo cual se dio como suspendida a término indefinido la licitación del proyecto final ya con sus respectivos estudios.

La tabla 1 presenta la carga contaminante que aporta el agua residual del centro poblado de San Joaquín sobre la fuente receptora y su impacto aguas abajo, lo que demuestra la poca capacidad de resiliencia de la fuente y la necesidad del tratamiento de estas aguas:

---

<sup>4</sup> EMPRESAS PÚBLICAS DE CUNDINAMARCA SA ESP. Detalle del Proceso Número CM-PDA-025-2014 “Prórroga 1 PDA-C-263-2014” [en línea]. <

<https://www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do?numConstancia=14-15-2738593> > [citado en 10 de febrero de 2016]

<sup>5</sup> ALCALDIA DE LA MESA CUNDINAMARCA. Plan de Desarrollo Departamental “Cundinamarca Calidad de Vida” [en línea]. < [http://www.cundinamarca.gov.co/wps/wcm/connect/730b8137-9236-495e-80fd-36b4500d21ff/plan\\_departamental\\_de\\_desarrollo\\_2012-2016-aprobado.pdf?MOD=AJPERES](http://www.cundinamarca.gov.co/wps/wcm/connect/730b8137-9236-495e-80fd-36b4500d21ff/plan_departamental_de_desarrollo_2012-2016-aprobado.pdf?MOD=AJPERES) > [citado en 10 de febrero de 2016]

<sup>6</sup> EMPRESAS PÚBLICAS DE CUNDINAMARCA SA ESP. Detalle del Proceso Número CM-PDA-025-2014 “Prórroga 1 PDA-C-263-2014” [en línea]. <

<https://www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do?numConstancia=14-15-2738593> > [citado en 10 de febrero de 2016]



*Tabla 1 Carga de vertimientos a la fuente receptora*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VERTIMIENTO 1</b>	<b>VERTIMIENTO 2</b>	<b>AGUAS ARRIBA</b>	<b>AGUAS ABAJO</b>
DBO5 (mg/l)	238	255	< 2	68
SST (mg/l)	174	223	15	59
OD(mg/l)	4.6	4.6	6.4	5.3
Coliformes fecales NMP/100 ml	240 x 10 <sup>4</sup>	>1.6 x 10 <sup>4</sup>	23	3.7 x 10 <sup>3</sup>

**FUENTE:** contratos.gov.co – Concurso de méritos No.CM-PDA-025-2014.  
Proyecto de pliego de condiciones.

## **6. MARCOS DE REFERENCIA**

### **6.1 MARCO HISTÓRICO**

#### **6.1.1 ACUEDUCTO DE SAN JOAQUIN**

Marlon Salgado (Funcionario de la empresa de acueducto Junta de acción comunal de la Inspección Municipal de San Joaquín, La Mesa Cundinamarca, Colombia, entrevista informal, 2016), en una entrevista informal, mencionó algunos aspectos históricos del Acueducto de San Joaquín y dio como referente histórico un cartel que relata los siguientes aspectos:

Nace a partir de los años 70 cuando la comunidad de San Joaquín se unió en torno a los señores Pablo Castiblanco, Ángel María Riveros, Jaime Camacho, Alfonso Salgado, Arístides Quiroga, Urbano Cifuentes, Bricelda Sánchez y Carlos García, todos residentes de la inspección municipal, e inicia la construcción del acueducto que culmina 15 años después. La bocatoma se instaló siete kilómetros arriba del Río Bahamón con gran parte de los recursos correspondientes a un impuesto a la venta de cerveza que los sanjuaquinunos aprobaron con los expendidos.

En 1986, la gobernación de Cundinamarca les donó la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) compacta con capacidad de 8 litros por segundo, luego la administración municipal de La Mesa les construyó un tanque de almacenamiento. A mediados de los años 90 se instaló la nueva red del río Apulo la cual solucionó el abastecimiento en épocas de verano.

A partir del año 2005, se inicia la legalidad del acueducto de San Joaquín ante la Superintendencia de Servicios Públicos e inicia el proceso de cumplimiento con los requisitos de la Secretaría de Salud Departamental, se construye las instalaciones del laboratorio, unidades sanitarias, cerramiento y un nuevo tanque de almacenamiento con capacidad de 123 metros cúbicos y una PTAP convencional.

En abril de 2015, se da inicio al proceso de facturación por consumo y se aplica estratificación socioeconómica ordenada por la administración municipal de La Mesa, con esta acción se logró contratar personal requerido para cumplir con el funcionamiento de la planta las 24 horas y así suministrar agua apta para el consumo humano, además se logra estabilidad económica.

En la actualidad el acueducto de San Joaquín cuenta con dos sectores, el de La Vega que cubre La Vega y Baltimore con 90 suscriptores, cuenta con una PTAP convencional y tanque de almacenamiento de 100 metros cúbicos y en San Joaquín que cuenta con una PTAP convencional y tres tanques de

almacenamiento con capacidad de 323 metros cúbicos prestando el servicio en el sector urbano de San Joaquín y las veredas Hungría-Bajo, Ojo de Agua y El Tigre con un total de 955 suscriptores.

### **6.1.2 CONDICIONES CLIMATICAS**

El Clima en San Joaquín es cálido en casi todo el año, oscila la temperatura entre los 33°C y 38°C. Existen precipitaciones, pero son muy pocas durante el transcurso del año. Su época de precipitaciones es los meses de marzo y abril y su época de sequía son en los meses comprendidos entre junio y septiembre.

### **6.2 MARCO CONCEPTUAL**

El tratamiento de aguas en Colombia se ha convertido en uno de los problemas ambientales más críticos y crecientes. La descarga de aguas residuales domésticas y los vertimientos agroindustriales están contaminando los ríos, las aguas subterráneas, los humedales y las represas de agua, causando un grave daño al medio ambiente y a la salud humana.

La construcción de sistemas de tratamiento de aguas en Colombia es una práctica relativamente reciente. Colombia trata el 10% de las aguas residuales a pesar de contar con una capacidad instalada que alcanzaría el 20%. Según un estudio de UNICEF, menos de la cuarta parte de los municipios de 21 departamentos analizados cuentan con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

El tratamiento de las aguas residuales en Colombia es primordial para la recuperación ambiental de las corrientes acuíferas más contaminadas del país y para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

#### **6.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Las características de las aguas residuales son de gran importancia conocerlas para diseñar su tratamiento y evacuación. Las características son:

- Físicas.
- Microbiológicas.
- Químicas.

##### **6.2.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

Las características físicas más importantes de las aguas residuales son: el contenido total de sólidos, olor, color, temperatura, densidad y turbiedad.

- **Sólidos totales**

“Se define como la materia que se obtiene como residuo al someter el agua a un proceso de evaporación entre 103°C y 105°C. Los sólidos totales pueden clasificarse en filtrables y no filtrables haciendo pasar un volumen conocido del líquido por un filtro fabricado en fibra de vidrio, la fracción que se filtra de los sólidos corresponden a los sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal está compuesta por partículas de materia de tamaños entre 0.0001 y 1 micrómetro.”<sup>7</sup>



<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas>.

- **Sólidos Sedimentables**

“Son aquellos que se sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Están expresados en unidades de ml/L y constituyen una medida aproximada de la cantidad de lodo o barro que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual.”<sup>8</sup>



<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas>.

---

<sup>7</sup> FUENTES TREMINIO, MELGAR ROSA y PINEDA GÓMEZ. Op. cit., p. 28.

<sup>8</sup> *Ibíd.*, p. 29.

- **Olores**

“Normalmente los olores son originados por los gases liberados durante el proceso de oxidación de la materia orgánica. El agua residual fresca presenta un olor característico, que resulta más tolerable que el olor producido por el agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia de Sulfuro de Hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaeróbicos.”<sup>9</sup>



<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas>.

- **Temperatura**

“La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua potable o de abastecimiento debido a las reacciones que se presentan procedentes de los usos domésticos e industriales. La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25 y 35°C. Los procesos de digestión aeróbica y de nitrificación se detienen cuando alcanzan los 50°C. A temperaturas de alrededor de 15°C las bacterias productoras de metano cesan su actividad.”<sup>10</sup>



<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas>.

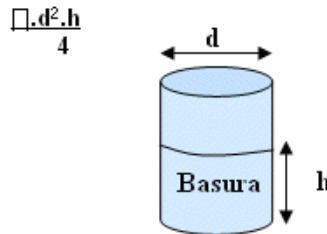
---

<sup>9</sup> *Ibíd.*, p. 29.

<sup>10</sup> *Ibíd.*, p. 30.

- **Densidad**

“Se define la densidad de un agua residual o cualquier fluido como su masa por unidad de volumen expresada comúnmente en Kg/m<sup>3</sup> es una característica física del agua residual dado de que ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en lodos de sedimentación.”<sup>11</sup>



<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas>.

- **Color**

“Se utiliza para determinar la edad del agua residual que puede ser categórica dependiendo del color que tenga. Por ejemplo, el agua residual fresca suele tener un color grisáceo, sin embargo al aumentar el tiempo de transporte en la red de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaeróbicas el color del agua residual cambia a un gris oscuro o negro y cuando llega a este punto suele llamarse agua séptica.”<sup>12</sup>



<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas>.

- **Turbiedad**

“La turbidez se refiere a lo clara o turbia que puede estar el agua. Los niveles altos de turbidez pueden ser causados por partículas suspendidas en el agua como

---

<sup>11</sup> *Ibíd.*, p. 30.

<sup>12</sup> *Ibíd.*, p. 30.

tierra, sedimentos, aguas residuales. Si el agua es clara, quiere decir que la turbiedad es baja.”<sup>13</sup>



<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas>.

### 6.2.1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

- ***Materia Orgánica***

Cerca del 75% de los sólidos en suspensión y del 40% de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de actividades humanas con la síntesis de compuestos orgánicos; los compuestos orgánicos se forman normalmente por combinaciones de carbono, hidrogeno y oxígeno con la presencia en determinados casos de nitrógeno; también pueden estar presentes elementos como el azufre, fósforo y/o hierro.<sup>14</sup>



<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas>.

---

<sup>13</sup>TURBIDEZ. Aspectos teóricos. [en línea]. < [www.reitec.es/Pdf/agua05.pdf](http://www.reitec.es/Pdf/agua05.pdf) > [citado en 20 de marzo de 2016]

<sup>14</sup> FUENTES TREMINIO, MELGAR ROSA y PINEDA GÓMEZ. Op. Cit. Op. cit., p. 31

- **Grasas, Grasas de Animales y Aceites**

“Son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que, al ser inmiscible con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas; entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico y se deben eliminar en los primeros pasos de tratamiento de un agua residual.”<sup>15</sup>



<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas>.

- **Medida de Contenido Orgánico**

“Los diferentes métodos pueden clasificarse en dos grupos, los empleados para determinar altas concentraciones de contenido orgánico, mayores de 1 mg/l, y los empleados para determinar las concentraciones a nivel de traza, para concentraciones en el intervalo de los 0,001 mg/l a 1 mg El primer grupo incluye los siguientes ensayos de laboratorio: (1) demanda bioquímica de oxígeno (DBO), (2) demanda química de oxígeno (DQO), y (3) carbono orgánico total (COT).”<sup>16</sup>



<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas>.

---

<sup>15</sup> PORCICULTURA. Evaluación del contenido de grasas y aceites en descargas de agua residual. [en línea]. <[http://www.porcicultura.com/porcicultura/home/productos-interior.asp?cve\\_prod=2-1053-216](http://www.porcicultura.com/porcicultura/home/productos-interior.asp?cve_prod=2-1053-216)>[citado en 20 de marzo de 2016]

<sup>16</sup> FUENTES TREMINIO, MELGAR ROSA y PINEDA GÓMEZ. Op. Cit. Op. cit., p. 32



- ***Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)***

“La demanda bioquímica de oxígeno es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en general residuales. Esto permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.”<sup>17</sup>



<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas>.

- ***Demanda Química De Oxígeno (DQO)***

“La demanda química de oxígeno determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.”<sup>18</sup>



<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas>.

<sup>17</sup> DR. CALDERON LABS. Demanda bioquímica de oxígeno. [en línea]. <  
[http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\\_De\\_Aguas/Determinacion\\_de\\_DBO5.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_DBO5.htm) >[citado en 20 de marzo de 2016]

<sup>18</sup> IDEAM. Demanda química de oxígeno. [en línea]. <  
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb> >[citado en 20 de marzo de 2016]

- **Carbono Orgánico Total (COT)**

“Se denomina carbón orgánico total a las sustancias orgánicas de las aguas superficiales. Esta sustancia puede ser descompuesta por microorganismos durante el proceso de consumo de oxígeno.”<sup>19</sup>



<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas>.

- **PH**

La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas, si la masa de agua receptora está siendo utilizada para el vertido de aguas residuales.<sup>20</sup>

- **Alcalinidad**

La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco. De todos ellos, los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio. La alcalinidad ayuda a regular los cambios del pH

---

<sup>19</sup> PRTR ESPAÑA. Carbono orgánico total. [en línea]. < <http://www.prtr-es.es/Carbono-organico-total-COTComo-C,15663,11,2007.html> > [citado en 20 de marzo de 2016]

<sup>20</sup> FUENTES TREMINIO, MELGAR ROSA y PINEDA GÓMEZ. Op. Cit. Op. cit., p. 33

producido por la adición de ácidos. Normalmente, el agua residual es alcalina, propiedad que adquiere de las aguas de tratamiento, el agua subterránea, y los materiales añadidos en los usos domésticos. La alcalinidad se determina por titulación con un ácido normalizado, expresándose los resultados en carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$  La concentración de alcalinidad en un agua residual es importante en aquellos casos en los que empleen tratamientos químicos.<sup>21</sup>

- **Nitrógeno Y Fósforo**

“Estos elementos tienen un papel fundamental en el deterioro de las masas acuáticas. Su presencia en las aguas residuales es debida a los detergentes y fertilizantes, principalmente. El nitrógeno orgánico también es aportado a las aguas residuales a través de las excretas humanas.”<sup>22</sup>



<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas>.

- **Azufre**

“El ion sulfato se encuentra, de forma natural, tanto en la mayoría de las aguas de abastecimiento como en el agua residual. Para la síntesis de proteínas, es necesario disponer de azufre, elemento que posteriormente será liberado en el proceso de degradación de las mismas. Los sulfatos se reducen químicamente a sulfuros y a sulfuros de hidrógeno (H bajo la acción bacteriana en condiciones anaerobias).”<sup>23</sup>



<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas>.

---

<sup>21</sup> *Ibíd.*, P. 34

<sup>22</sup> FÉLEZ SANTAFÉ, Marta. Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos. Barcelona, España. 2009. P. 14

<sup>23</sup> FUENTES TREMINIO, MELGAR ROSA y PINEDA GÓMEZ. Op. cit., P. 35

- **Compuesto Tóxicos Inorgánicos**

“Algunos cationes son de gran importancia de cara al tratamiento y evacuación de aguas residuales. Muchos de dichos compuestos están clasificados como contaminantes prioritarios el cobre, el plomo, la plata, el cromo, el arsénico y el boro son tóxicos en mayor o menor grado para los microorganismos, razón por la cual deben ser considerados en el proyecto de plantas de tratamiento biológico.”<sup>24</sup>



<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas>.

- **Metales Pesados**

Como constituyentes importantes de muchas aguas, también se encuentran cantidades, a nivel de traza, de muchos metales. Entre ellos podemos destacar el níquel (Ni), el manganeso (Mn), el plomo (Pb), el cromo (Cr), el cadmio (Cd), el cinc (Zn), el cobre (Cu), el hierro (Fe) y el mercurio (Hg). Muchos de estos metales también están catalogados como contaminantes prioritarios. Algunos de ellos son imprescindibles para el normal desarrollo de la vida biológica, y la ausencia de cantidades suficientes de ellos podría limitar el crecimiento de las algas, por ejemplo. Debido a su toxicidad, la presencia de cualquiera de ellos en cantidades excesivas interferirá con gran número de los usos del agua. Es por ello que, a menudo, resulta conveniente medir y controlar las concentraciones de dichas sustancias, especialmente cuando realiza un tratamiento para desechos industriales.<sup>25</sup>

---

<sup>24</sup> AGUAMARKET. Compuesto tóxico inorgánico. [en línea]. <

<http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?id=3652> > [citado en 20 de marzo de 2016]

<sup>25</sup> FUENTES TREMINIO, MELGAR ROSA y PINEDA GÓMEZ. Op. Cit. Op. cit., P. 35

- **Gases**

“Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el sulfuro de hidrógeno y metano. Estos dos primeros son gases de común presencia debido a la descomposición de residuos domésticos. El oxígeno se encuentra en el agua de suministro y la infiltración de agua superficial.”<sup>26</sup>

- **Oxígeno Disuelto**

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Sin embargo, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua. La cantidad real de oxígeno y otros gases que puede estar presente en la solución, viene condicionada por los siguientes aspectos: (1) solubilidad del gas; (2) presión parcial del gas en la atmósfera; (3) temperatura, y (4) pureza del agua (5) salinidad, (6) sólidos en suspensión, etc. Debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en las épocas estivales. El problema se agrava en los meses de verano, debido a que el caudal de los cursos de agua es generalmente menor, razón por la cual la cantidad total de oxígeno disponible es también menor. Dado que evita la formación de olores desagradables en las aguas residuales, es deseable y conveniente disponer de cantidades suficientes de oxígeno disuelto.<sup>27</sup>

- **Sulfuro de Hidrógeno**

El sulfuro de hidrógeno se forma durante el proceso de descomposición de la materia orgánica que contiene azufre, o en la reducción de sulfitos y sulfatos minerales, mientras que su formación queda inhibida en presencia de grandes cantidades de oxígeno. Es un gas incoloro, inflamable, con un olor típicamente característico que recuerda al de huevos podridos. El ennegrecimiento del agua residual y del lodo se debe, generalmente, a la formación de sulfuro de hidrógeno que se combina con el hierro presente para formar sulfuro ferroso u otros sulfuros metálicos.<sup>28</sup>

- **Metano**

El principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual es el gas metano. El metano es

---

<sup>26</sup> *Ibíd.*, P. 35

<sup>27</sup> *Ibíd.*, P. 35

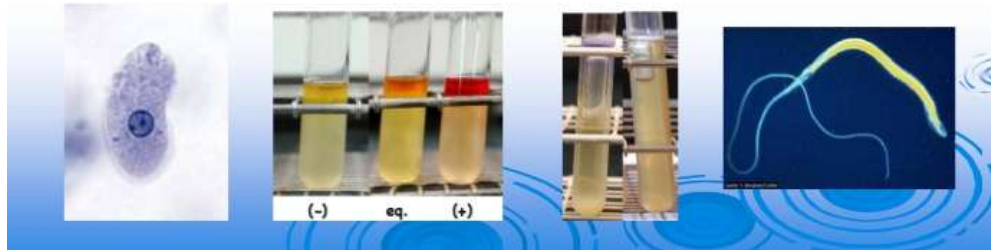
<sup>28</sup> *Ibid.*, p. 36

un hidrocarburo combustible de alto valor energético, incoloro e inodoro. Normalmente, no se encuentra en grandes cantidades en el agua residual, puesto que incluso pequeñas cantidades de oxígeno tienden a ser tóxicas para los organismos responsables de la producción del metano. No obstante, en ocasiones, se produce metano como resultado de un proceso de descomposición.<sup>29</sup>

### 6.2.1.3 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

Al hablar de las características microbiológicas de las aguas residuales nos podemos encontrar con bacterias, algas, hongos, protozoos y crustáceos, que facilitan la coagulación de los sólidos en suspensión y la estabilización y/o eliminación de la materia orgánica disuelta, principalmente por acción de las bacterias.

## Análisis microbiológico del agua



<https://es.slideshare.net/zionswarekhuman/anlisis-microbiolgico-del-agua>

- **Microorganismos**

Como dice Féliz<sup>30</sup>, los microorganismos que intervienen en la depuración biológica de las aguas residuales se pueden clasificar en tres grupos:

- Animal: son organismos pluricelulares con tejidos diferenciados. Los animales más característicos son los crustáceos.
- Vegetal. Son organismos con tejidos diferenciados. Los vegetales más característicos son los hongos y helechos.
- Protistas. No tienen tejidos diferenciados y pueden ser unicelulares o pluricelulares. Los más característicos son las algas y protozoos.

---

<sup>29</sup> Ibid, p. 36

<sup>30</sup> FÉLEZ SANTAFÉ, Marta. Op. cit., P. 42

- **Bacteria**

Las bacterias son microorganismos unicelulares que se multiplican por escisión celular. Son responsables de la mineralización de la materia orgánica. En función de su forma, las bacterias pueden clasificarse en cuatro grandes grupos: esferoidales, que tienen un diámetro aproximado de entre 1 y 3 micras. Las bacterias bastón tienen tamaños muy variables entre 0,5 y 2 micras de ancho por entre 1 y 10 micras de largo. Los *Escherichia coli*, organismo común en heces humanas, miden del orden de 0,5 micras de ancho por 2 micras de largo. Las bacterias del tipo de bastón curvado tienen dimensiones que pueden variar entre 0,6 y 1,0 micras de ancho por entre 2 y 6 micras de longitud. Las bacterias con forma de espiral pueden alcanzar longitudes del orden de las 50 micras, mientras que las filamentosas pueden llegar a superar las 100 micras.<sup>31</sup>

- **Hongos**

“Los hongos son protistas heterótrofos, no fotosintéticos, multicelulares. Se suelen clasificar por su modo de reproducción que puede ser sexual o asexual, por escisión, gemación o formación de esporas. Su capacidad para sobrevivir en ambientes de bajo pH los convierte en agentes de gran importancia en el tratamiento biológico de aguas industriales.”<sup>32</sup>

- **Algas**

Como dice Fález<sup>33</sup>, las algas son protistas unicelulares o pluricelulares, sin tejidos diferenciados y su reproducción se realiza por esporas, sexual, con gametos masculinos y femeninos. Su pigmento verde es elemental para sintetizar sustrato orgánico a partir de materiales inorgánicos, descomponiendo el CO<sub>2</sub>. Existen cuatro tipos de algas importantes que son:

- Verdes (clorofitas). Pueden ser unicelulares o pluricelulares. Poseen cloroplastos. Del grupo *Chlorella*.
- Verdes móviles (*volvoales euglenophyta*). De color verde brillante, unicelulares y flageladas y viven en colonias.
- Verdes amarillas o marrón dorado (*chrysophyta*). La mayoría son unicelulares. Su color característico es debido a los pigmentos pardos amarillentos que contienen la clorofila. Las más importantes son las diatomeas.

---

<sup>31</sup> FUENTES TREMINIO, MELGAR ROSA y PINEDA GÓMEZ. Op. Cit. P. 37

<sup>32</sup> FÉLEZ SANTAFÉ, Marta. Op. cit., P. 46

<sup>33</sup> Ibid, p. 44

- Verdes azuladas (*cianofitas*). Son muy simples, y en muchos aspectos, parecidas a las bacterias. Su clorofila no está contenida en los cloroplastos, sino que está repartida por toda la célula. Utilizan como nutriente el nitrógeno atmosférico.

Estos tipos de algas se encuentran comúnmente en las aguas dulces contaminadas.

- **Protozoos**

Según Félez<sup>34</sup>, los protozoos son protistas móviles unicelulares. Suelen consumir bacterias y partículas orgánicas como fuente de energía. Suelen dividirse en 5 grupos:

- Sarcodina (*entamoeba histolytica*)
- Mastigophora (*euglena, astasia*)
- Esporozoario (*plasmodium*)
- Infusorios (*paramecium, vorticela*)
- Suctoria

- **Plantas y Animales**

Las diferentes plantas y animales que tienen importancia para el ingeniero sanitario tienen tamaños muy variados: desde los gusanos y rotíferos microscópicos hasta crustáceos macroscópicos. El conocimiento de estos organismos resulta útil a la hora de valorar el estado de lagos y corrientes, al determinar la toxicidad de las aguas residuales evacuadas al medio ambiente, y a la hora de determinar la efectividad de la vida biológica en los tratamientos secundarios empleados para destruir los residuos orgánicos.<sup>35</sup>

- **Virus**

Los virus son partículas parasíticas formadas por un cordón de material genético ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (RNA) con una capa de recubrimiento proteínico. No tienen capacidad para sintetizar compuestos nuevos. En lugar de ello, invaden las células del cuerpo vivo que los acoge y reconducen la actividad celular hacia la producción de nuevas partículas virales a

---

<sup>34</sup> Ibid, p. 46

<sup>35</sup> FUENTES TREMINIO, MELGAR ROSA y PINEDA GÓMEZ. Op. Cit., P. 38



costa de las células originales. Cuando muere la célula original, se liberan gran cantidad de virus que infectarán células próximas. Los virus excretados por los seres humanos pueden representar un importante peligro para la salud pública. Por ejemplo, a partir de datos experimentales, se ha podido comprobar que cada gramo de heces de un paciente con hepatitis contiene entre 10.000 y 100.000 dosis de virus hepático.<sup>36</sup>

- **Organismos Patógenos**

“Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera.”<sup>37</sup>

## **6.2.2 TEORÍA DE LOS SISTEMAS DE AGUAS RESIDUALES**

### **6.2.2.1 DEFINICIÓN**

Las aguas residuales son básicamente las aguas provenientes de una zona después de haber sido contaminadas debido a uso doméstico o industrial. Estas aguas son consecuencia de la combinación de desechos atraídos por el agua con contenido orgánico e inorgánico.

El volumen producido por una zona varía dependiendo del uso que se le dé a la fuente hídrica. Si es una zona doméstica, donde el alcantarillado funcione correctamente, una persona puede producir 90 l/día y si es en una zona industrial podríamos hablar de una producción alrededor de los 800 l/día.

### **6.2.2.2 ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Las aguas residuales son originadas por desechos humanos y animales, desperdicios caseros, corrientes fluviales, infiltración de aguas subterráneas y desechos industriales.

El alcantarillado de aguas domésticas es una red de tuberías que transporta las aguas contaminadas hasta una planta de tratamiento. Toda población con un acueducto estable y funcionando totalmente, debe tener un sistema alcantarillado. Estos sistemas están clasificados dependiendo del lugar de origen de las aguas residuales y son:

---

<sup>36</sup> Ibid, P. 38

<sup>37</sup> Ibid, P. 39

- Desagües para edificaciones
- Pozo séptico
- Alcantarillados

El agua residual es transportada por un sistema de alcantarillado que incluye cargas hídricas domésticas provenientes del lavamanos, duchas, lavaplatos y otros elementos que no generan descargas con material fecal, cargas hídricas industriales y las aguas lluvias.

### **5.2.2.3 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES**

- ***Aguas Residuales Urbanas***

Son las cargas hídricas generadas por núcleos de población urbana como consecuencia de actividades propias de la zona. Estas cargas pueden ser (1) aguas residuales o fecales (2) aguas de lavado doméstico (3) aguas provenientes de los sistemas de drenaje de calles y avenidas (4) aguas lluvias.

- ***Aguas Residuales Industriales***

Son las cargas procedentes de cualquier actividad industrial cuyo proceso de producción, transformación o manipulación utilicen agua.

### **6.2.2.4 ASPECTOS DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Las aguas residuales son turbias con sólidos suspendidos. Cuando son recientes, tienen una tonalidad gris y tienen un olor no desagradable. Algunos elementos que flotan en ella pueden ser sustancias fecales, alimentos en descomposición, basura, entre otros materiales provenientes de las labores cotidianas de la zona. Al pasar el tiempo, la tonalidad del agua pasa de ser gris a negra con un olor desagradable. A este estado final se le denomina Aguas Sépticas.

- ***Composición***

Las aguas residuales están compuestas por sólidos disueltos y suspendidos. El problema más grande a la hora de tratar las aguas residuales es la cantidad de sólidos diminutos presentes en el agua.

- ***Recolección y transporte***

“El agua residual llega a través del sistema de alcantarillado sanitario a la Planta. Las aguas lluvias se conducen a través de un sistema de canales abiertos hasta los humedales y ríos directamente. La separación de las aguas residuales de las aguas lluvias facilita el tratamiento a través de un aliviadero, pues entre menos diluida llegue el agua residual a la planta, es más fácil remover los residuos contaminantes”<sup>38</sup>.

- **Vertimiento**

Es un proceso sencillo y económico. La descarga de las aguas ya tratadas se puede dar en distintos lugares como ríos, canales, estanques o lagos.

### 6.2.2.5 TIPOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

- **Tratamiento preliminar**

Se realiza este tratamiento para eliminar los residuos muy grandes que se pueden separar con facilidad. En este proceso se puede utilizar las rejillas, los tamices y los microfiltros, que se describen a continuación:

- **Rejillas**

“Las rejillas retienen todo el material grueso, su principal objetivo es retener basuras, material sólido grueso que pueda afectar el funcionamiento de las bombas, válvulas, aireadores, entre otros. Se construyen con barras de 6 mm de grosor y son acomodadas aproximadamente a 100 mm de distancia.”<sup>39</sup>

- **Tamices**

“Luego de las rejillas se colocan tamices con aberturas menores para remover un porcentaje más alto de sólidos, con el fin de evitar la obstrucción de tuberías, filtros biológicos, con una abertura máxima de 2,5 mm. Tiene una pendiente que deja transitar el agua y hace deslizar los desechos por fuera de la malla.”<sup>40</sup>

---

<sup>38</sup> EMPRESA DE ACUEDUCTO DE BOGOTÁ. Tratamiento de aguas y lodos PTAR Salitre. [en línea]. < <https://goo.gl/Pek9IE> > [citado en 20 de abril de 2016]

<sup>39</sup> TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Tratamientos preliminares [en línea]. < <https://goo.gl/PBimjo> > [citado en 20 de abril de 2016]

<sup>40</sup> TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Tratamientos preliminares [en línea]. < <https://goo.gl/PBimjo> > [citado en 20 de abril de 2016]

- **Microfiltros**

“Son planillas giratorias plásticas o de acero por las cuales circula el agua. Tiene un sistema de lavado para que así puedan mantener las mallas limpias. Dependiendo de la aplicación que tengan se selecciona el tamaño de las mallas.”<sup>41</sup>

- **Tratamiento Primario**

Este tratamiento comprende los procesos de sedimentación y tamizado usando tratamientos físicos o físico-químicos. En la mayoría de los casos las aguas residuales se dejan un tiempo en grandes tanques dejando asentar por medio de gravedad los sólidos en suspensión de las aguas residuales. Las bacterias que crecen en este medio, se retiran en un tanque de sedimentación secundario y se hacen entrar de nuevo al tanque de secado. Este tipo de tratamiento retira de un 60 a un 65% de los sólidos sedimentables y de 30 a 35% de los sólidos suspendidos en las aguas residuales.

- **Sedimentación**

Es una operación física de separación por gravedad que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Esta función depende de la densidad del líquido, del tamaño, del peso específico y de la morfología de las partículas.

- **Flotación**

Operación física fundamentada en la diferencia de densidades. La flotación permite separar la materia sólida o líquida de menor densidad que la del fluido, por ascenso de ésta hasta la superficie del fluido, ya que en este caso, las fuerzas que tiran hacia arriba (rozamiento y empuje del líquido) superan a la fuerza de la gravedad. Se generan pequeñas burbujas de gas (aire), que se asociarán a las partículas presentes en el agua y serán elevadas hasta la superficie, donde son arrastradas y sacadas del sistema.

- **Coagulación – Floculación**

En muchos casos parte de la materia en suspensión está formada por partículas de muy pequeño tamaño, lo que conforma una suspensión coloidal. Estas suspensiones coloidales suelen ser muy estables, en muchas ocasiones debido a interacciones eléctricas entre las partículas. Por tanto tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, por lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico.

---

<sup>41</sup> TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Tratamientos preliminares [en línea]. <  
<https://goo.gl/PBimjo> > [citado en 20 de abril de 2016]

- **Tratamiento Secundario**

Este tratamiento tiene el objetivo de eliminar desechos y sustancias que la sedimentación no pudo eliminar y para remover las demandas biológicas de oxígeno. Este tratamiento acelera la descomposición de los contaminantes orgánicos. Existen dos tipos de procesos para acelerar la descomposición que son el biológico y el químico. El proceso más utilizado es el proceso biológico ya que facilita que las bacterias aeróbicas digieran la materia orgánica que llevan las aguas residuales. Estos tanques tienen sistemas de agitación que aseguran las condiciones aeróbicas necesarias para el crecimiento de los microorganismos.

- **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.

- **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.

- **FILTRO BIOLÓGICO**

Está formado por un reactor, en el cual se ha situado un material de relleno sobre el cual crece una película de microorganismos aeróbicos con aspecto de limos.

- **Tratamiento Terciario**

Este tratamiento comprende los procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes como fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, entre otros. Es el tipo de tratamiento más costoso que los anteriores y se usa en casos más especiales como por ejemplo para purificar desechos de algunas industrias.

PRETRATAMIENTO	TRATAMIENTO PRIMARIO	TRATAMIENTO SECUNDARIO	TRATAMIENTO TERCIARIO
<b>Objetivo</b> Eliminación de objetos gruesos, arenas y grasas	<b>Objetivo</b> Eliminación de materia sedimentable y flotante	<b>Objetivo</b> Eliminación de materia orgánica disuelta o coloidal	<b>Objetivo</b> Eliminación de sólidos en suspensión, materia orgánica residual, nutrientes y patógenos
<b>Operaciones básicas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desbaste</li> <li>- Tamizado</li> <li>- Desarenado</li> <li>- Desengrasado</li> </ul>	<b>Operaciones básicas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Decantación primaria</li> <li>- Tratamientos físico-químicos (coagulación-floculación)</li> </ul>	<b>Procesos básicos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Degradación bacteriana</li> <li>- Decantación secundaria</li> </ul>	<b>Procesos básicos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Floculación</li> <li>- Filtración</li> <li>- Eliminación de N y P</li> <li>- Desinfección</li> </ul>
<b>Procesos físicos</b>	<b>Procesos físicos y químicos</b>	<b>Procesos biológicos</b>	<b>Procesos físicos, químicos y biológicos</b>

<https://www.google.com.co/search?q=tratamientos+de+aguas+residuales+primario+secundario+y+terciario&espv=2&biw=1366&bih=662&tbm=isch&imgil=qZEDcCRtE5WcGM%>

#### 6.2.2.6 TIPOS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

- **Filtro Percolador**

Un filtro percolador es una cama de grava o un medio plástico sobre el cual se rocían las aguas negras pretratadas. En este sistema de filtro percolador, los microorganismos se apegan al medio del lecho y forman una capa biológica sobre éste. A medida que las aguas negras se percolan por el medio, los microorganismos digieren y eliminan los contaminantes del agua.

Las colonias de bacterias crecen sobre las superficies de las piezas del relleno. Al pasar el agua a través del relleno, entra en contacto con las colinas de bacterias que se han formado sobre las piezas del mismo, las bacterias degradan la materia orgánica, convirtiendo los compuestos de carbono en CO<sub>2</sub>, agua y otros componentes.

Un filtro percolador correctamente diseñado, es el sistema más económico de funcionamiento, ya que puede llegar a funcionar sin necesidad de energía eléctrica.

- **Lodos Activados**<sup>42</sup>

Es un proceso biológico utilizado para la depuración de las aguas residuales. Este proceso consiste en dos partes:

- Un tratamiento aeróbico de las aguas residuales, en el cual, unos cultivos aeróbicos de microorganismos en suspensión oxidan la materia orgánica.
- Un proceso de oxidación de la materia orgánica disuelta llamado biodegradación y una producción nueva de biomasa celular llamado biosíntesis cuya finalidad es la producción de agua sin materia orgánica en suspensión, baja en DBO, en sólidos suspendidos y turbiedad.

Este proceso requiere de aireación prolongada con aire comprimido y distribución por difusores. La eficacia de eliminación oscila entre el 75 al 95%.

- **Lagunas de estabilización**<sup>43</sup>

Son tanques formados por diques de tierra, con profundidades menores a 5 m. tienen periodos de permanencia hidráulica de 1 a 40 días. Sus objetivos principales son reducir la presencia de organismos patógenos en líquidos residuales, disminuir DBO y DQO del líquido y permitir el reuso del líquido para la agricultura.

Las ventajas más importantes de este proceso son:

- Las lagunas con grandes periodos de permanencia, generalmente se eliminan los huevos de los parásitos intestinales, lo que no ocurre con los tratamientos convencionales.
- Pueden tratar gran variedad de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas cuando la carga sea biodegradable.

- **Tratamiento Biológico**<sup>44</sup>

---

<sup>42</sup> BIOTECNOLOGÍA PRÁCTICA Y APLICADA. Como funciona una planta de lodos activos [en línea]. < <https://bioreactorcrc.wordpress.com/2008/04/30/como-funciona-una-planta-de-lodos-activados/> > [citado en 20 de abril de 2016]

<sup>43</sup> INGENIERO AMBIENTAL. Laguna de estabilización [en línea]. < <http://www.ingenieroambiental.com/?pagina=838> > [citado en 20 de abril de 2016]

<sup>44</sup> RXL WATER. Tratamiento biológico de aguas residuales y residuos [en línea]. < <https://www.rxlwater.com/tratamiento-biologico-aguas-residuales/?lang=es> > [citado en 20 de abril de 2016]

El uso de tratamientos biológicos, en los que se usan organismos para descomponer las sustancias orgánicas en las aguas residuales, está muy extendido en el mundo. A diferencia de otros tratamientos de aguas residuales, que solo usan procesos químicos o mecánicos, los tratamientos biológicos incluyen el uso de bacterias, nematodos u otros organismos pequeños. Este tratamiento contiene una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos para llevar a cabo la eliminación de material indeseables del agua residual.

Los tratamientos biológicos son preferidos siempre que sea posible, ya que tienen mayores rendimientos con menores costes económicos de explotación y mantenimiento, y destruyen completamente los contaminantes, transformándolos en sustancias inocuas como el dióxido de carbono, el metano, el nitrógeno molecular, y el agua. La mineralización de compuestos contaminantes mediante microorganismos es, por tanto, un proceso destructivo completo (Daphne, 1994).

Como su nombre indica, los tratamientos biológicos de aguas residuales se basan en el empleo de microorganismos, fundamentalmente bacterias, para la depuración de las mismas. La contaminación del agua constituye el sustrato o alimento de la biocenosis o comunidad de microorganismos, la cual es mantenida en reactores biológicos. En estos reactores deben mantenerse las condiciones ambientales para permitir el desarrollo óptimo de la biocenosis. Según sea el tipo de compuesto a eliminar, podemos distinguir tratamientos biológicos que eliminan compuestos carbonados, compuestos nitrogenados o fósforo.

Los objetivos del tratamiento biológico son:

- Reducir el contenido de materia orgánica en las aguas,
- Reducir el contenido de nutrientes
- Eliminar patógenos y parásitos.

Estos objetivos se logran a través de procesos aeróbicos y anaeróbicos en los cuales la materia orgánica es metabolizada por diferentes células homogéneas.

### **Tratamiento aeróbico de aguas residuales**

Los procesos de tratamiento aeróbico de aguas residuales incluyen tratamientos como lodo activado, zanjas de oxidación, filtro percolador, tratamientos basados en lagunas y digestión aeróbica. Los equipos pueden incluir sistemas de aireación difusa o aireadores de superficie mecánicos, como los aireadores de aspiración



tornado, para maximizar la transferencia de oxígeno y minimizar los olores a medida que las aguas residuales son tratadas.

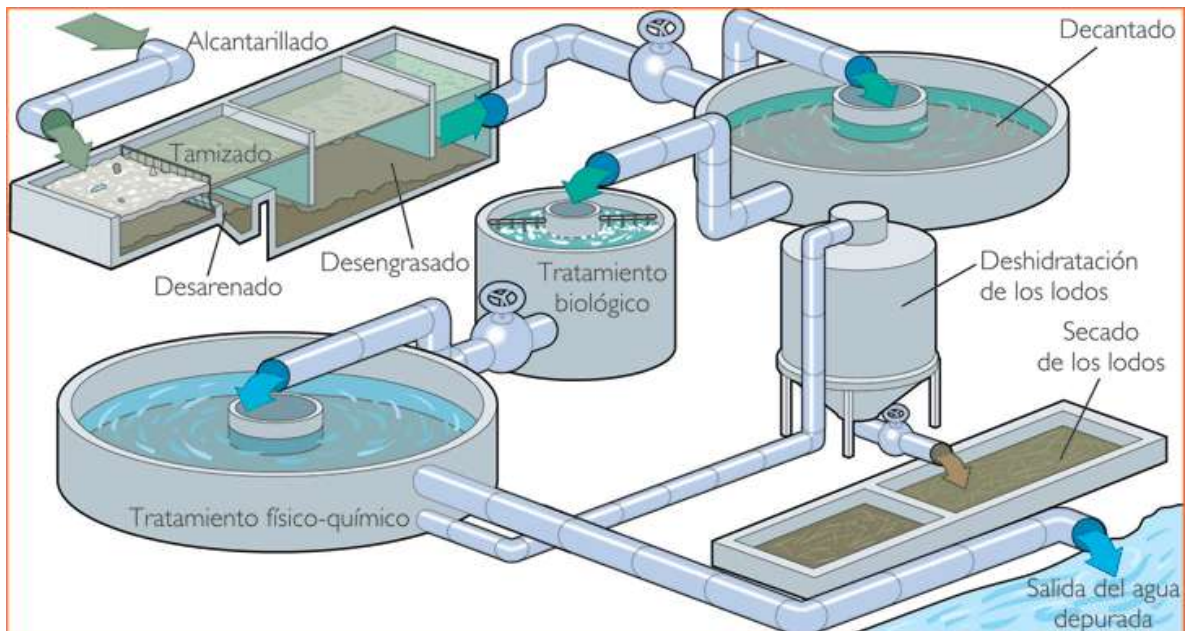
La aireación es una de las primeras etapas del proceso, dado que las bacterias y demás organismos requieren oxígeno para descomponer las sustancias orgánicas de las aguas residuales en tratamiento.

#### - Tratamiento anaeróbico de aguas residuales

El tratamiento anaeróbico es un proceso en el que se usan bacterias para descomponer el material orgánico en un entorno libre de oxígeno. Las lagunas y los tanques sépticos son ejemplos de implementaciones de estos tipos de métodos de tratamiento anaeróbico.

Quizá, el mejor tipo de tratamiento anaeróbico es la digestión anaeróbica. Por lo general, este tratamiento involucra la degradación de materia orgánica en forma anaeróbica.

La digestión anaeróbica se usa para el tratamiento de efluentes en la elaboración de alimentos y bebidas, y para el tratamiento de aguas residuales municipales, efluentes químicos y residuos agrícolas.



<https://es.slideshare.net/zionswarekhuman/analisis-microbioligico-del-agua>

- **Zanjas de Oxidación**<sup>45</sup>

Este tratamiento depende de la cantidad de habitantes de la zona y trabajan bajo la modalidad de lodos activos. Existen 4 sistemas de oxidación

- Tipo A, para poblaciones de hasta 1000 habitantes.
- Tipo D para poblaciones de hasta 5000 habitantes.
- Tipo T, para poblaciones de hasta 300.000 habitantes.
- Sistema Biodenitro y Biodenipho.

Todos estos sistemas deben ir acompañados de un pretratamiento que puede incluir desbaste, desarenado, desengrasado y decantación primaria. Este sistema puede complementarse con el tratamiento biológico por medio de filtración y cloración.

- **Sistema Doyoo Yookasoo**

“Es un proceso mixto, de medio fijo y suspendido, que se puede considerar como una variante del proceso de lodos activados, con medio de contacto fijo sumergido aireado, en cuyas unidades se incorpora grava o empaque pastico, donde y con la ayuda de aire inyectado, las bacterias formadas transforman la materia organica contaminante, para obtener efluentes de alta calidad y lodos con mayor grado de estabilización para su posterior deshidratación y disposición final.”<sup>46</sup>

---

<sup>45</sup> KJAER, Ricardo. Canales de oxidación. En: Congreso de Centroamérica y Panamá de Ingeniería Sanitaria y Ambiental “Superación Sanitaria y Ambiental: El Reto” (22: 22-24, agosto, 2001). Memorias. Tegucigalpa, República de Honduras. P. 1-5.

<sup>46</sup> COMISIÓN NACIONAL DE AGUA. Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón. [en línea]. < <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/SGAPDS-3-13.pdf> > [citado en 20 de abril de 2016]

### 6.3. MARCO GEOGRÁFICO

#### 6.3.1 GENERALIDADES

##### 6.3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

San Joaquín es una inspección municipal de La Mesa, ubicado al oeste del casco urbano a 11 km por carretera. Limita al norte con la Vereda Baltimore, al sur con la Vereda Santa Lucía, al oriente con La Mesa y al occidente con la Vereda La Ceiba. Su extensión es de 25,26 hectáreas o 252600 m<sup>2</sup>. La temperatura ambiente en San Joaquín es de 26°C.

*Figura 1. Área Geográfica de La Mesa y San Joaquín*



FUENTE: [http://www.lamesa-cundinamarca.gov.co/mapas\\_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=1365170](http://www.lamesa-cundinamarca.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=1365170)

*Figura 2. Veredas que limitan con San Joaquín*



FUENTE: Google Maps

*Figura 3. Veredas que limitan con San Joaquín*



FUENTE: Google Maps

### 6.3.1.2 COMPOSICIÓN ADMINISTRATIVA

Administrativamente la inspección de San Joaquín está gobernada por la Alcaldía Municipal de La Mesa y su consejo, después por la Gobernación de Cundinamarca. San Joaquín cuenta con su parte administrativa controlada por la alcaldía municipal.

### 6.3.1.3 COMPOSICIÓN POLÍTICA

San Joaquín tiene a su disposición 8 lugares cercanos importantes que son:

- Capata
- El Espino
- El Tigre
- Hungría
- La vega
- Ojo de Agua
- San Martín
- Santa Lucía

### 6.3.1.4 INSTITUCIONES DE SERVICIO

Algunas de las instituciones con las que cuenta la comunidad son:

*Figura 4. Fotografía Institución Educativa Departamental de San Joaquín*



FUENTE: Autores

*Figura 5. Centro de Salud San Joaquín*



FUENTE: Autores

*Figura 6. Iglesia Católica y Cristiana respectivamente.*



FUENTE: Autores

*Figura 7. Cancha deportiva*



FUENTE: Autores

*Figura 8. Cancha deportiva*



FUENTE: Autores

*Figura 9. Plaza de Toros.*



FUENTE: Autores

*Figura 10. Plaza de Mercado*



FUENTE: Autores



*Figura 11. Plaza de Mercado*



FUENTE: Autores

### **6.3.1.3 RELIEVE**

En general, el relieve de la inspección es montañoso y plano. En la zona urbana el relieve es plano con una altitud promedio de 633 msnm y solo presenta ligeras pendientes y en la zona rural prevalece el relieve montañoso. En sus zonas limítrofes presente zona montañosa.

### **6.3.1.4 HIDROLOGÍA**

La fuente de abastecimiento de agua limpia para la inspección es por parte de Aguas del Tequendama donde la calidad del agua es limpia, pero no potable, sirve para las necesidades básicas y alimentación siempre y cuando sea hervida. En la zona urbana, las aguas lluvias recolectadas en las calles son descargadas en la Quebrada La Carbonera y en el Río Apulo.

### **6.3.1.5 CLIMA**

El Clima en San Joaquín es cálido en casi todo el año, oscila la temperatura entre los 33°C y 38°C. Existen precipitaciones, pero son muy pocas durante el transcurso del año. Su época de precipitaciones es los meses de marzo y abril y su época de sequía son en los meses comprendidos entre junio y septiembre.

### **6.3.1.6 INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS**

La infraestructura de la inspección puede describirse de la siguiente manera:

- Viviendas para uso habitacional
- Red Vial, un sector muy corto destapada comprendido entre las calles 1 y 2, y el resto de las vías están pavimentadas con un material flexible y el estado de sus vías es bueno.
- Parque Central, ubicado en la carrera 6ta entre calle 3 y calle 3A
- Cancha deportiva, ubicada antes de llevar a la inspección vía La Mesa – San Joaquín.
- Iglesia, ubicación. casa cural.
- Tendido de Alumbrado eléctrico, suministrada por la Empresa de Energía de Cundinamarca (EEC)
- Red de agua limpia no potable, suministrada por la empresa Aguas de Tequendama.
- Red de aguas residuales, transportadas por una tubería de hierro fundido.
- Plazas de mercado, ubicado en la carrera 6ta entre calle 3 y calle 3A
- Plaza de toros, ubicado en la carrera 6ta entre calle 3 y calle 3A
- Colegio, ubicado sobre la carrera 4ta con calle 4

Los servicios con que cuenta la comunidad entre otros son:

- Transporte Público: la empresa que presta el servicio se llama Cotransvilla, característicamente de color rojo con blanco y prestan el servicio de transporte entre San Joaquín – La Mesa y viceversa.
- Agua Limpia no potable, suministrada por la empresa Aguas de Tequendama.
- Energía Eléctrica, suministrada por la Empresa de Energía de Cundinamarca (EEC).

## **6.4 MARCO LEGAL**

### **6.4.1 NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS**

#### **6.4.1.1 GESTIÓN AMBIENTAL CALIDAD DE AGUA**

La norma NTC-ISO 5667-10<sup>47</sup> fue ratificada por el Consejo Directivo de 1995-06-21. Esta norma puede ser modificada por su naturaleza fue producida por INCONTEC, ente privado que realiza y revisa las normas técnicas colombianas, es actualizada según las necesidades y exigencias del momento.

Esta norma cubre las aguas residuales industriales y las aguas residuales domésticas. El objetivo de esta norma es determinar la concentración de contaminantes en una corriente de aguas residuales, también determinar la carga que transporta la corriente de aguas residuales, proporcionar datos para la reparación de una planta de tratamiento, realizar ensayos para determinar los límites de carga de las aguas residuales, suministrar datos para el avalúo de los impuestos por descarga de aguas residuales.

#### **6.4.1.2 GTC 31<sup>48</sup> GUIA PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE TOXICIDAD EN ORGANISMOS ACUÁTICOS**

Esta norma técnica colombiana realizada por el ICONTEC fue ratificada por el Consejo Directivo de 1996-11-27. Esta norma describe el método para detectar y terminar el efecto agudo en organismos, ante la presencia de sustancias tóxicas o mezclas de ellas, contenidas en las aguas naturales o residuales y permite obtener el límite o cantidad máxima que pueden soportar los organismos, conocida como concentración letal media.

### **6.4.2 CONSTITUCIÓN, LEYES, DECRETOS Y RESOLUCIONES**

#### **6.4.2.1 REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO (RAS- 2000) SECCIÓN II TÍTULO E**

El propósito del siguiente título es fijar los criterios básicos y requerimientos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la

---

<sup>47</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Directrices para el diseño de programas de muestreo. NTC-ISO 5667-10- Bogotá D.C.: El instituto, 1995. 17 p.

<sup>48</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Gestión ambiental: guía para la realización de ensayos de toxicidad (bioensayos) en organismos acuáticos. GTC 31. Bogotá D.C.: El instituto, 1996. 5 p.

conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.<sup>49</sup>

#### **6.4.2.2 RESOLUCIÓN 0631 DE 2015 POR EL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

Esta resolución busca reducir y controlar las sustancias contaminantes que llegan a los ríos, embalses, lagunas, cuerpos de aguas naturales o artificiales de agua dulce, y al sistema de alcantarillado público, para de esta forma, aportar al mejoramiento de la calidad del agua y trabajar en la recuperación ambiental de las arterias fluviales del país.<sup>50</sup>

#### **6.4.2.3 CONPES 3177 DE 2002<sup>51</sup>**

Este documento promueve el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico de la Nación ya que la política de agua potable y saneamiento básico establece la necesidad de formular un Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales (PMAR) donde sea viable y sostenible tanto económicamente, socialmente y ambientalmente. Las empresas públicas de las grandes ciudades tienen que realizar inversiones en tratamiento de aguas residuales, incluida la construcción de colectores e interceptores para recolectar las aguas residuales.

#### **6.4.2.4 MARCO CONSTITUCIONAL DE 1991**

La Constitución Política de Colombia de 1991 con sus 380 artículos cuenta con más de 35 de ellos que de forma directa hablan del medio ambiente y los recursos naturales, tanto del cuidado como de la recuperación y tratamiento de dichos recursos.

---

<sup>49</sup> REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Tratamiento de aguas residuales. [en línea]. < <http://www.cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7. Tratamiento de aguas residuales.pdf> > [citado en 20 de mayo de 2016]

<sup>50</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Norma de vertimientos resolución 0631 de 2015. [en línea]. < [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res\\_631\\_marz\\_2015.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf) > [citado en 20 de mayo de 2016]

<sup>51</sup> CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL. Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales. Conpes 3177. Bogotá. 2002. 27 p.

#### **6.4.2.5 DECRETO 1594 DE 1984<sup>52</sup>**

Esta norma declara las condiciones y los compuestos permitidos del vertimiento de líquidos. Cuando quiera que el presente Decreto se refiera a recurso, se entenderá por tallas aguas superficiales, subterráneas y marinas, incluidas las aguas servidas. La sigla EMAR utilizada en el presente Decreto, corresponde a la entidad encargada del manejo y administración del recurso

#### **6.4.2.6 LEY 9 DE 1979<sup>53</sup>**

Esta ley establece las normas generales que sirven para la reglamentación del agua ligado a la salud humana y también los procedimientos y medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan las condiciones sanitarias en el ambiente. La descarga de residuos en las aguas deberá ajustarse a las reglamentaciones que establezca el Ministerio de Salud para fuentes receptoras.

#### **6.4.2.7 DECRETO 2811 DE 1974<sup>54</sup>**

En este decreto dictado por el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Habla de la preservación y manejo de los recursos naturales renovables, del mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales beneficiando la salud y el bienestar de los presentes y futuros habitantes del territorio nacional.

---

<sup>52</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 1594 (26, junio, 1984). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI –Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III –Libro I- del decreto – Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1984. No. 36700. P 1-55

<sup>53</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 9. (24, enero, 1979). Por la cual se dictan Medidas Sanitarias. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1979. No. 35193. 373 p.

<sup>54</sup> COLOMBIA. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto 2811 (18, diciembre, 1974). Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1974. No. 34243. p 1-32

## **7. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **7.1 LÍNEA Y SUBLINEA**

- **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**  
Hidrotecnia para el desarrollo sostenible y el bienestar de la comunidad:  
**HIDROSOSTENIBLE-UGC**
- **SUBLINEA:**  
Suministro de agua y saneamiento básico.

### **7.2 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN**

La investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que a través de instrumentos que facilitan la medición numérica de una realidad que podemos explicar y predecir. Para este trabajo se hará uso de encuestas a la comunidad con el fin de tener un análisis estructurado basado en conocer si los usuarios conocen el destino final de las aguas residuales.

### **7.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Teniendo en cuenta que el objetivo de este trabajo es “Establecer un diseño de tratamiento de aguas residuales para el corregimiento de San Joaquín – La Mesa Cundinamarca” se define que es un tipo de investigación formativa en el área de ingeniería aplicada, ya que describe de modo sistemático las características del área de interés. Esto tiene ciertas ventajas ya que el problema es observado completamente y se ve reflejado la manera en que afecta la descarga de agua residual a las fuentes hídricas. Este es un método válido de investigación que a pesar de los resultados siempre están abiertos a cuestionamientos y diferentes interpretaciones.

### **7.4 FASES**

**FASE 1. VERIFICACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO DEL MUNICIPIO OBJETO DE ESTUDIO.**

En la primera fase se verifica la situación actual del sistema de alcantarillado sanitario del municipio objeto de estudio tales como diámetros, materiales, si existen daños en el alcantarillado, zona de evacuación, si es mixto o separado, se analiza el sentido del flujo de fluido. Esto se analiza por medio de planos existentes de la zona y también de la empresa pública del municipio Acueducto Junta de Acción comunal de San Joaquín

**FASE 2. DETERMINAR LA COBERTURA DEL SERVICIO DE ALCANTARILLADO, A TRAVÉS DE ENCUESTAS.**

En la segunda fase se realiza una encuesta con el fin de determinar la cobertura del servicio de alcantarillado. Esto es necesario para determinar el flujo natural de las aguas residuales, también para proyectar la población a futuro.

**FASE 3. CAUDAL MÍNIMO DE LA FUENTE RECEPTORA PARA EL DISEÑO DE LA PTAR**

El tercer objetivo es cuantificar el caudal de la fuente receptora para el diseño de la PTAR.

**FASE 4. PROPUESTA DE UN AJUSTE EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO EXISTENTE A UN SOLO VERTIMIENTO FINAL PARA REALIZAR LA PTAR.**

## 8. RESULTADOS

### 8.1 VERIFICACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO DEL MUNICIPIO OBJETO DE ESTUDIO

De acuerdo con los planos obtenidos por la Empresa de Acueducto del Tequendama (*ver Anexo A. Plano Inspección municipal de San Joaquín*), que presta el servicio de agua y alcantarillado para la Inspección municipal, se conocen algunos aspectos del sistema:

*Tabla 2. Verificación de la situación actual del sistema de alcantarillado sanitario.*

<b>Diámetros</b>	8", 10" y 16"
<b>Material</b>	PVC
<b>Daños en el alcantarillado</b>	No
<b>Tipo de Alcantarillado</b>	Mixto
<b>Vertimientos</b>	2

Con los diferentes tipos de tubería de alcantarillado, determina que la malla de alcantarillado es mixta y que el sentido del flujo del fluido se transporta de acuerdo con la disminución de las cotas en el terreno. Por medio del plano se determina una zona urbana de 25,72 ha (hectárea) con lo que facilita hallar el caudal de entrada a la PTAR. Se determina un casco urbano mayor con 22,24 ha y un casco urbano menor con 3,47 ha, esto con el fin de facilitar el cálculo de aguas residuales de los dos vertimientos que se encontraron en el plano. (**Ver anexo 1**)

### 8.2 DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA DEL SERVICIO DE ALCANTARILLADO, A TRAVÉS DE ENCUESTAS

Al realizar la encuesta propuesta para la localidad de San Joaquín Inspección Municipal de la Mesa Cundinamarca, arrojó los siguientes resultados:

#### 1. Tipo de vivienda:

*Tabla 3. Tipo de Vivienda*

<b>TIPO DE VIVIENDA</b>	<b>NÚMERO</b>	<b>%</b>
CASA QUINTA	0	0
CASA	270	89,7
APARTAMENTO	26	8,64
HOTEL	1	0,33
TIENDA	4	1,33
<b>TOTAL</b>	<b>301</b>	<b>100</b>



En la zona urbana y centro de la inspección municipal se contabilizaron un total de 301 viviendas. El 89,7% de las viviendas corresponde a viviendas de 1 piso o 2 pisos, el 8,64 corresponde a los apartamentos. Existen en el pueblo 4 casas (1,33%) de uso comercial solamente, eso quiere decir que el uso del acueducto y del alcantarillado depende de las horas laborales de los empleados y usuarios. No se tomaron en cuenta las veredas ya que por lo general las casas cuentan con un pozo séptico.

## 2. Condición de estado de la vivienda (casas):

*Tabla 4. Condición de estado de la vivienda*

<b>ESTADO</b>	<b># DE VIVIENDAS</b>	<b>%</b>
<b>CONSTRUIDA</b>	247	91,5%
<b>EN OBRA NEGRA</b>	23	8,5%

El 91,5% de las casas están construidas, mientras que solamente en 8,5% de las casas están en obra negra. Esto quiere decir que a pesar de que las casas estén en obra negra estas tienen su debida conexión a la red de alcantarillado de la localidad (como se demuestra en los resultados de la pregunta 4).

## 3. Esta vivienda es de uso:

*Tabla 5. Uso de la Vivienda*

<b>USO</b>	<b># DE VIVIENDAS</b>	<b>%</b>
<b>PERMANENTE</b>	250	83,1%
<b>OCASIONAL</b>	51	16,9%

De las 301 viviendas, el 83,1% de estas son de uso permanente y el 16,9% restante corresponde a viviendas que con alquiladas para fines de semana o en temporada alta (semana santa, mitad de año y fin de año)

#### 4. Esta vivienda cuenta con conexión al alcantarillado:

*Tabla 6. Vivienda con conexión al alcantarillado*

<b>CUENTA CON CONEXIÓN</b>	<b># DE VIVIENDAS</b>	<b>%</b>
<b>SI</b>	294	97,7%
<b>NO</b>	7	2,3%

El 97,7% de las viviendas cuentan con conexión al alcantarillado, el 2,3% restante responde que no. En sus respuestas comentan que vierten las aguas residuales al río, como se puede observar en la siguiente imagen:

*Figura 12. Vertimiento directo al río. (25 de Marzo de 2016)*



Descripción: La zona húmeda marcada con un círculo rojo, indica la descarga directa de aguas residuales provenientes de las casas que no cuentan con la debida conexión al alcantarillado. Fotografía propia tomada el 25 de marzo de 2016.

**5. La frecuencia en que se suministra el agua a esta vivienda es:**

*Tabla 7. Suministro de agua a las viviendas*

<b>FRECUENCIA</b>	<b># DE RESPUESTAS</b>	<b>%</b>
<b>TODOS LOS DÍAS</b>	301	100
<b>CADA 3 DÍAS</b>	0	0
<b>CADA 8 DIAS</b>	0	0
<b>CADA 15 DÍAS</b>	0	0
<b>OTRA</b>	0	0

El 100% de las viviendas cuenta con agua que es suministrada por el río Apulo y el río Bahamón. Las viviendas cuentan con tanque de almacenamiento que en caso de que corten el suministro no se quedan sin el servicio.

**6. La salida de las aguas residuales está conectada a:**

*Tabla 8. Salida de las Aguas Residuales*

<b>SALIDA</b>	<b># DE RESPUESTAS</b>	<b>%</b>
<b>SISTEMA DE ALCANTARILLADO</b>	294	97,7%
<b>POZO SÉPTICO</b>	0	0%
<b>LETRINA</b>	0	0%
<b>DIRECTO AL RIO</b>	7	2,3%

El 97,7% de las viviendas cuentan con conexión al alcantarillado, el 2,3% restante vierten las aguas residuales al río tal y como se puede observar en la *Figura 12*. El agua residual proveniente de la tubería mayor de 16" la cual desemboca en el río Apulo como se puede apreciar en la *Figura 13*.

*Figura 13. Aguas residuales que provienen de la tubería mayor vertidas al río Apulo*



Fotografía tomada el 25 de marzo de 2016.

## 7. Cuántas personas residen en esta casa:

*Tabla 9. Número de personas que residen en las casas*

<b>Nº PERSONAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9 +</b>	<b>TOTAL</b>
<b>CASAS</b>	8	40	51	74	35	24	47	18	4	<b>301</b>
<b>PERSONAS</b>	8	80	153	296	175	144	329	144	36	<b>1365</b>

La totalidad de la población en la Inspección Municipal de San Joaquín al 29 de julio de 2016 fue de 1.470 habitantes<sup>55</sup>. La población entrevistada en el área urbana fue de 1.365 habitantes correspondiente al 92,9% de la población total. El 7,1% correspondiente a 105 habitantes no fueron encuestados ya que no se encontraban en sus casas o porque viven en las veredas pertenecientes a la inspección.

<sup>55</sup> ALCALDIA DE LA MESA CUNDINAMARCA. Nuestro Municipio. Información general. [en línea]. < [http://www.lamesa-cundinamarca.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.lamesa-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml) > [citado en 20 de septiembre de 2016]

## 8. Cuantas personas visitantes llegan a esta casa:

Tabla 10. Número de personas visitantes en las casas

Nº PERSONAS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9 +	TOTAL
<b>CASAS</b>	15	3	35	85	49	61	23	15	10	5	<b>286</b>
<b>PERSONAS</b>	0	3	70	255	196	305	138	105	80	45	<b>1197</b>

La cantidad de personas visitantes en las viviendas depende de la actividad que realice la Inspección o de la época del año.

## 9. Cada cuanto tiempo vienen las personas visitantes:

Tabla 11. Tiempo que duran las personas visitantes

DIAS	8	15	V	FDA	TOTAL
<b>CASAS</b>	17	48	78	143	<b>286</b>

V: Vacaciones

FDA: Fin de Año

Las fiestas patronales se celebran a finales de diciembre y comienzo de enero. En esta época es la mayor demanda de agua residual que se vierte al río Apulo.

### 8.3 DETERMINACIÓN DE POBLACIÓN PROYECTADA Y DEMANDA DE AGUA DEL ACUEDUCTO

Es necesario cuantificar el caudal mínimo de la fuente receptora para el diseño de la PTAR y se inicia el procedimiento con ayuda del área urbana (25,72 hectáreas) y el número de habitantes proyectado a un periodo de diseño de 25 años (hasta el año 2041).

*Tabla 12 Proyección de población por medio de los métodos aritmético, geométrico y exponencial*

POBLACIÓN CONOCIDA			PROYECCIÓN DE POBLACIÓN					
Censo Urbano realizado								
AÑO	FECHA	HABITANTES	MÉTODO ARITMÉTICO	MÉTODO GEOMÉTRICO	MÉTODO EXPONENCIAL	POBLACIÓN PROMEDIO	POBLACIÓN FLOTANTE	POBLACIÓN DE DISEÑO
1964	jul-15	0						POBLACIÓN PROMEDIO + 15%
1973	oct-24	0						
1985	oct-15	771						
1993	oct-24	928						
2005	nov-15	1243						
2016			1510	1619	1617	1582	237,3	1819
2017			1534	1658	1656	1616	242,4	1858
2018			1558	1698	1695	1650	247,6	1898
2019			1582	1739	1736	1686	252,8	1938
2020			1606	1781	1777	1721	258,2	1980
2021			1630	1823	1820	1758	263,7	2021
2022			1654	1867	1863	1795	269,2	2064
2023			1678	1912	1908	1833	274,9	2108
2024			1702	1958	1954	1871	280,7	2152
2025			1726	2005	2000	1911	286,6	2197

POBLACIÓN CONOCIDA			PROYECCIÓN DE POBLACIÓN					
Censo Urbano realizado								
AÑO	FECHA	HABITANTES	MÉTODO ARITMÉTICO	MÉTODO GEOMÉTRICO	MÉTODO EXPONENCIAL	POBLACIÓN PROMEDIO	POBLACIÓN FLOTANTE	POBLACIÓN DE DISEÑO
2026			1750	2053	2048	1951	292,6	2243
2027			1774	2103	2097	1991	298,7	2290
2028			1798	2153	2147	2033	304,9	2338
2029			1822	2205	2199	2075	311,3	2387
2030			1846	2258	2251	2119	317,8	2436
2031			1870	2312	2305	2163	324,4	2487
2032			1894	2368	2360	2207	331,1	2539
2033			1918	2425	2417	2253	338	2591
2034			1942	2483	2475	2300	345	2645
2035			1966	2543	2534	2348	352,1	2700
2036			1990	2604	2594	2396	359,4	2756
2037			2014	2667	2657	2446	366,9	2813
2038			2038	2731	2720	2496	374,4	2871
2039			2062	2796	2785	2548	382,2	2930
2040			2086	2864	2852	2601	390,1	2991
2041			2110	2933	2920	2654	398,1	3052

CÁLCULO DE LA DEMANDA DE AGUA						
PROYECCIÓN DE POBLACIÓN			CONSUMO			AÑO
NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA	DOTACIÓN BRUTA	Qm (Lts/s)	QMD (Lts/s)	QmH (Lts/s)	
TABLA A 3.1	TABLA RAS	$Db = DNT / (1 - \%PÉRDIDAS)$ PÉRDIDAS(% PÉRDIDAS = 0,75)	$Qm = Dd \times Pd / 86,460$	$QMD = Qm \cdot K1$ $K1 = \text{TABLA B 2,5}$	$QmH = QMD \cdot K2$ $K2 = \text{TABLA B 2,6}$	
<b>MEDIO</b>	125	166,667	3,5096	4,562	7,528	2016
	125	166,667	3,5848	4,66	7,689	2017
	125	166,667	3,6613	4,76	7,854	2018
	125	166,667	3,7392	4,861	8,021	2019
	125	166,667	3,8186	4,964	8,191	2020
	125	166,667	3,8994	5,069	8,364	2021
	125	166,667	3,9818	5,176	8,541	2022
	125	166,667	4,0657	5,285	8,721	2023
	125	166,667	4,1512	5,397	8,904	2024
	125	166,667	4,2383	5,51	9,091	2025
	125	166,667	4,3271	5,625	9,282	2026



CÁLCULO DE LA DEMANDA DE AGUA						
PROYECCIÓN DE POBLACIÓN			CONSUMO			AÑO
NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA	DOTACIÓN BRUTA	Qm (Lts/s)	QMD (Lts/s)	QmH (Lts/s)	
TABLA A 3.1	TABLA RAS	Db=DNT/(1-%PÉRDIDAS) PÉRDIDAS(% PÉRDIDAS = 0,75)	Qm=Dd X Pd/86,460	QMD=Qm.K1 K1=TABLA B 2,5	QmH=QMD.K2 K2= TABLA B 2,6	
<b>MEDIO</b>	125	166,667	4,4176	5,743	9,476	2027
	125	166,667	4,5098	5,863	9,674	2028
	125	166,667	4,6038	5,985	9,875	2029
	125	166,667	4,6997	6,11	10,081	2030
	125	166,667	4,7974	6,237	10,29	2031
	125	166,667	4,897	6,366	10,504	2032
	125	166,667	4,9986	6,498	10,722	2033
	125	166,667	5,1022	6,633	10,944	2034
	125	166,667	5,2079	6,77	11,171	2035
	125	166,667	5,3157	6,91	11,402	2036
	125	166,667	5,4256	7,053	11,638	2037
	125	166,667	5,5377	7,199	11,878	2038
	125	166,667	5,6522	7,348	12,124	2039
	125	166,667	5,7689	7,5	12,374	2040
125	166,667	5,888	7,654	12,63	2041	

- **DETERMINACIÓN DEL CAUDAL PARA EL DISEÑO DE LA PTAR**

### **CONTRIBUCIONES DE AGUAS RESIDUALES**

La contribución de las aguas residuales corresponde a las aguas residuales domésticas, industriales, comerciales e institucionales.

- **Aporte doméstico ( $Q_D$ )**

El aporte doméstico está dado por la siguiente expresión:

$$QD = \frac{C * P * R}{86400}$$

Dónde:

C = Dotación Neta (L/hab.día)

P = Población proyectada

R = Coeficiente de retorno (*Tabla D 3.1 – RAS 2000, Coeficiente de retorno de aguas servidas domésticas*)

El coeficiente de retorno<sup>56</sup>, que es la fracción porcentual del consumo total de agua potable que es usada en el hogar (descarga de sanitarios, ducha, lavado de manos) y que se transforma en agua residual. Este valor se estima entre el 70% y el 80%, con lo cual, los coeficientes de retorno sanitario se encuentran entre 0,70 y 0,80 para un nivel de complejidad medio del sistema.

$$QD = \frac{125 \frac{L}{hab} \cdot día * 3052 \text{ hab} * 0,80}{86400}$$

$$QD = 3,53 \text{ L/s}$$

---

<sup>56</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Caudales de diseño y canal de entrada. [en línea]. < [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion\\_6\\_caudales\\_de\\_diseo\\_y\\_canal\\_de\\_entrada.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion_6_caudales_de_diseo_y_canal_de_entrada.html) > [citado en 20 de octubre de 2016]

- **Aporte Industrial ( $Q_i$ ):**

En San Joaquín no hay evidencia de industria y en el POT (Plan de Ordenamiento Territorial) tampoco hay muestra de proyectos industriales. Sin embargo, se prevé un consumo de agua en dado caso de que exista una industria.

La contribución de las aguas residuales por parte de la industrial se establece en la siguiente tabla:

*Tabla 13. Contribución Industrial*

Nivel de complejidad del sistema	Contribución industrial (L/s-ha ind)
Bajo	0,4
Medio	0,6
Medio alto	0,8
Alto	1,0-1,5

**FUENTE:** *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título D.*

Para el cálculo del aporte industrial de aguas residuales suponemos un área industrial de 0.5 ha

**$Q_i$  = Contribución industrial \* área industrial**

$$Q_i = (0.6 \text{ L/s} * \text{ha}) * (0.5 \text{ ha})$$

$$Q_i = 0.3 \text{ L/s}$$

- **Aporte Comercial ( $Q_c$ ):**

En San Joaquín únicamente de uso comercial existen 2 mercados con un área comercial total de 0.31 ha. De acuerdo al RAS encontramos:

*Tabla 14. Contribución comercial*

Nivel de complejidad del sistema	Contribución comercial (L/s-ha com)
Cualquier	0,4 - 0,5

**FUENTE:** *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título D.*

Entonces:

**$Q_c$  = Contribución comercial \* área comercial**

$$Q_c = (0.5 \text{ L/s} * \text{ha}) * (0.31 \text{ ha})$$

$$Q_c = 0.155 \text{ L/s}$$

- **Aporte Institucional ( $Q_{IN}$ ):**

El aporte institucional de aguas residuales en San Joaquín está dado por el servicio de un hotel, un puesto de salud y un colegio.

Entonces:

- Hotel = 0.020 ha
- Salud = 0.012 ha
- Colegio = 0.028 ha

$$\Sigma \text{ ha} = 0.020 \text{ ha} + 0.012 \text{ ha} + 0.028 \text{ ha}$$

$$\Sigma \text{ ha} = 0.06 \text{ ha}$$

En la siguiente tabla se muestra la contribución industrial de aguas residuales.

*Tabla 15. Contribución Institucional mínima en zonas residenciales*

NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	CONTRIBUCION COMERCIAL
Cualquier	0,4 – 0,5

**FUENTE:** *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título D.*

$$Q_{IN} = (\Sigma \text{ ha área institucional}) * \text{contribución institucional}$$

$$Q_{IN} = 0,06 * 0,5 = 0,03 \text{ L/s}$$

**CAUDAL MEDIO DE AGUAS RESIDUALES ( $Q_{MD}$ )**

El caudal medio de las aguas residuales es la suma de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales.

$$Q_{MD} = Q_D + Q_I + Q_C + Q_{IN}$$

$$Q_{MD} = 3,53 \text{ L/s} + 0,3 \text{ L/s} + 0.155 \text{ L/s} + 0,03 \text{ L/s}$$

$$Q_{MD} = 4.015 \text{ L/s}$$

Se debe considerar los aportes tanto de caudal de las conexiones erradas como del caudal por infiltraciones.

Para el caudal por conexiones erradas ( $Q_{CE}$ ) son los aportes de aguas lluvias al sistema de alcantarillado, provenientes de malas conexiones de bajantes de tejados y patios.

Dado que en San Joaquín las casas no cuentan con sistema pluvial, se utilizará la siguiente tabla:

*Tabla 16. Aportes máximos por drenaje domiciliario de aguas lluvias sin sistema pluvial*

Nivel de complejidad del sistema	Aporte (L / s-ha)
Bajo y medio	2
Medio alto y alto *	2

**FUENTE:** *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título D.*

Para el caudal por infiltración ( $Q_{INF}$ ) se da por las aguas superficiales a las redes del sistema de alcantarillado, a través de los colectores ya sea en sus fisuras o en las juntas ejecutadas deficientemente. La categorización de la infiltración en alta medio y baja se relaciona con las características topográficas.

*Tabla 17. Aportes por infiltración en redes de sistema de recolección y evacuación de aguas residuales*

Nivel de complejidad del sistema	Infiltración alta (L / s-ha)	Infiltración media (L / s-ha)	Infiltración baja (L / s-ha)
Bajo y medio	0,15 - 0,4	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2
Medio alto y alto *	0,15 - 0,4	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2

**FUENTE:** *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título D.*

### **CAUDAL MÁXIMO HORARIO ( $Q_{MH}$ )**

El caudal máximo horario es la base para establecer el caudal de diseño de la PTAR. El caudal máximo horario se estima a partir del caudal medio diario multiplicado por el factor de mayoración F.

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

El factor de mayoración puede calcularse de diferentes maneras por medio del número de habitantes o del caudal medio diario (*RAS 2000. Titulo D*). **En general el valor de F debe ser mayor o igual a 1,4.**

Se utilizará la fórmula de Flores con el fin de hallar el valor de F.

Fórmula de Flores:

$$F = \frac{3,5}{P^{0,1}}$$

Donde:

F = Factor de mayoración (adimensional).

P = Población servida en miles de habitantes (hab/1000)

$$F = \frac{3,5}{3.052^{0,1}} = 3,13$$

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

$$Q_{MH} = 3.13 * 4.015 = 12.56 \text{ L/s}$$

### **CAUDAL DE DISEÑO**

$$Q_D = Q_{MH} + Q_{INF} + Q_{CE}$$

$$Q_D = 12.56 \text{ L/s} + 2 \text{ L/s} + 0,35 \text{ L/S}$$

$$Q_D = 14,91 \text{ L/s}$$

### **CALCULO CAUDAL DE AGUAS LLUVIAS**

El método racional se utiliza en hidrología para determinar el caudal máximo de descarga en una cuenca hidrográfica. El caudal máximo de descarga se calcula de la siguiente manera:

$$Q = 2.78 * C * I * A$$

Dónde:

C = coeficiente de escorrentía (adimensional)

I = intensidad de lluvia máxima para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y para un tiempo de retorno igual al que exija la obra hidráulica.

A = área (Ha)

Para conocer la intensidad de lluvia máxima, encontramos los datos de la estación pluviométrica Honduras situada en La Mesa - Cundinamarca, arrojando datos desde el año 2005 al 2015, cada 15 minutos y con sus precipitaciones en mm/H. A continuación, en la siguiente tabla, se encontrarán los datos arrojados.

Tabla 18. Precipitaciones máximas (mm) estación pluviométrica Honduras en La Mesa - Cundinamarca

PRECIPITACIONES MAXIMAS (mm) ESTACIÓN PLUVIOMETRICA HONDURAS - LA MESA CUNDINAMARCA													
DURACION (H)	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25
2006	21	16	14	7	11	5	6	2	1	2	2	1	0
2007	18	17	11	8	6	1	4	4	3	1	0	4	0
2008	19	15	13	11	7	7	3	3	3	1	2	2	1
2010	21	14	11	10	6	6	5	4	3	1	2	0	4
2011	16	11	12	9	5	6	4	3	0	4	1	1	1
2012	21	16	11	8	4	3	5	4	0	3	2	0	1
2013	22	14	10	7	5	3	2	1	3	1	1	1	1
2014	19	13	12	9	4	5	4	1	2	0	2	0	0
2015	21	13	10	7	3	1	1	0	3	1	3	1	1
Xm	19,77777778	14,33333333	11,55555556	8,444444444	5,666666667	4,111111111	3,777777778	2,444444444	2	1,555555556	1,666666667	1,111111111	1
S	1,922093766	1,87082869	1,333333333	1,424000624	2,34520788	2,20479276	1,56347192	1,50923086	1,32287566	1,23603308	0,8660254	1,26929552	1,22474487

Con los datos dados, procedemos a calcular el promedio aritmetico y la desviacion estandar.

Luego, procedemos a calcular el factor de frecuencia para un tiempo de retorno = 10 años con la siguiente ecuación:

$$Kt = \frac{-\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[ \ln \left( \frac{Tr}{Tr - 1} \right) \right] \right\}$$

$$Kt = \frac{-\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[ \ln \left( \frac{10}{10 - 1} \right) \right] \right\}$$

$$Kt = 1.31$$

Para hallar la intensidad para un periodo de 10 años dependiendo de los minutos se calcula de la siguiente manera:

$$i = x + K * s$$

Dónde:

X = promedio aritmético

Kt = Factor de frecuencia

S = desviación estándar

Para 15 minutos tenemos:

$$i = 19.77 + 1.31 * 1.92$$

$$i = 22.29 \text{ mm/h}$$

En la siguiente tabla se muestran los valores correspondientes al tiempo de duración de la precipitación:

*Tabla 19. Duración - precipitación*

DURACIÓN(H)	mm
0,25	22,29
0,5	16,77
0,75	13,29
1	10,30
1,25	8,73
1,5	6,99
1,75	5,82
2	4,41
2,25	3,73
2,5	3,17
2,75	2,80
3	2,77
3,25	2,60



Ahora, para hallar el coeficiente de escorrentía que es la relación que existe entre la escorrentía y el agua lluvia que cae dentro de un área, debemos hallar un promedio ponderado de los coeficientes utilizados.

En la siguiente tabla se encontrarán los diferentes coeficientes de escorrentía dependiendo de la superficie.

*Tabla 20. Coeficiente de escorrentía*

Tipo de superficie	C
Cubiertas	0,75-0,95
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,70-0,95
Vías adoquinadas	0,70-0,85
Zonas comerciales o industriales	0,60-0,95
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre éstos	0,60-0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,40-0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,20-0,35

**FUENTE:** *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título D.*

De acuerdo al plano suministrado de San Joaquín, se obtiene un área principal de **6.72 ha**. Ahora, se calcula un promedio ponderado de la escorrentía de la siguiente manera:

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA	NÚMERO	Ce*N°
0.83	1	0.83
0.78	2	1.56
0.75	3	2.25
0.3	4	1.2
0.6	5	3
0.35	6	2.1
	Σ = 21	Σ = 10.49

$$C \text{ ponderado} = \frac{\Sigma (Ce * N^{\circ})}{\Sigma(\text{NÚMERO})}$$

$$C \text{ ponderado} = \frac{10.94}{0.52} = 0.52$$

Finalmente, podemos calcular el caudal de aguas lluvias para San Joaquín de la siguiente manera:

$$Q = 2.78 (0.52 * 22.29 * 6.72)$$

$$Q_{ALL} = 274.83 \text{ L/s}$$

Ahora de procedemos a calcular las aguas residuales de la segunda área ubicada entre la carrera 4 con calle 1, correspondiente al conjunto campestre las margaritas, donde su área total es de 0,87 ha y existe una población de 77 habitantes en total. Mediante la siguiente ecuación se procede a calcular el caudal para el área mencionada anteriormente.

$$Q = \frac{D_b * D_p * A * C_r}{86400}$$

Dónde:

$D_b$ : Dotación bruta

$D_p$ : Densidad de población (Hab / Ha)

$A$ : Área (Ha)

$C_r$ : Coeficiente de retorno

$D_p = 77 \text{ hab} / 0,87 \text{ Ha}$

$D_p = 88,51 \text{ Hab} / \text{Ha}$

$$Q = \frac{166,67 \text{ L} * 88,51 \text{ Hab/Ha} * 0,87\text{Ha} * 0,80}{86400}$$

$$Q = 0,118 \text{ L/s}$$

Ahora, se calcula el caudal correspondiente a las 7 casas aisladas utilizando la formula anterior, donde existe un área total de 0,091 ha y una población existente de 42 habitantes en total.

$$Q = \frac{166,67 \text{ L} * 461,54 \text{ Hab/Ha} * 0,091\text{Ha} * 0,80}{86400}$$

$$Q = 0,065 \text{ L/s}$$

Finalmente el caudal de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la Inspección municipal de San Joaquín en La Mesa – Cundinamarca será:

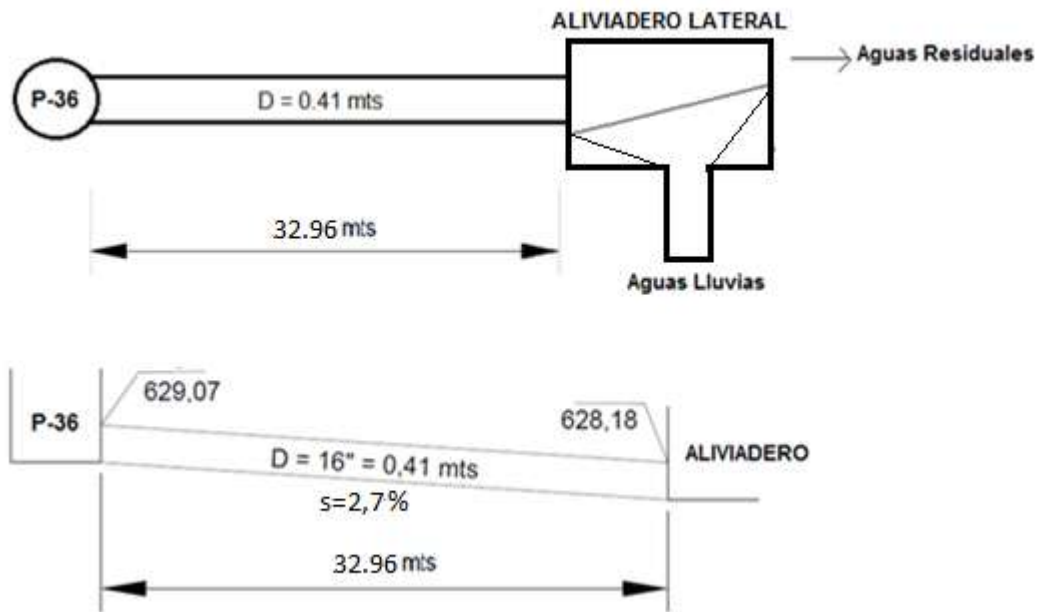
$$Q_{\text{PTAR}} = 14,91\text{L/s} + 0,118 \text{ L/s} + 0,065 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{PTAR}} = 15,09 \text{ L/s}$$

## 8.4 PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL VERTIMIENTO EXISTENTE POR MEDIO DE UN ALIVIADERO

Se diseña el tramo final del sistema de alcantarillado existente y que corresponde al tramo del POZO 36 – aliviadero con una longitud de 32,96 mts (Ampliada) ya que la existente es de 31,45 mts, esto con el fin de conectar la tubería existente con el aliviadero por medio de un pozo de inspección ,(Ver Anexo A)

Figura 14. Tramo 36 – Aliviadero



Los aliviaderos consisten en estructuras que se hacen para controlar el caudal, evitándose posibles desbordes. Se diseñará en aliviadero lateral debido a que el alcantarillado de la inspección municipal de San Joaquín es combinado, eso quiere decir, que mezcla tantas aguas lluvias como aguas residuales. Como el objetivo primordial es separar tanto aguas residuales como aguas lluvias, se escoge este tipo de aliviadero ya que éste permite direccionar de una manera más fácil las aguas lluvias para su vertimiento directo al río sin contaminarlo. El material con el que se podría construir el aliviadero sería concreto debido a la poca corrosión que tiene con el agua.

Cota batea en pozo 36 = cota clave – diámetro interior tubería

Cota batea en pozo 36 =  $629.07 - 0.346 = 628,724$

Cota batea al entrar al aliviadero = cota clave – diámetro interior tubería

Cota batea al entrar al aliviadero =  $628.18 - 0.346 = 627.834$

Longitud = 32.96 mts.

Caída en el tramo =  $628,724 - 627,834 = 0,89$  mts.

Diametro exterior tubería pozo 36 – Vertimiento = 0.41 mts.

Espesor tubería pvc tubería 16" = 30.10 mm

Diametro interior tubería = 346.20 mm

Tipo de tubería = PVC – n = 0.010

Pendiente entre P36 – Vertimiento:

$$S = \frac{628,724 - 627,834}{32,96} = 0,027 \text{ m/m}$$

El caudal a tubo lleno del tramo P36 – Vertimiento es calculado mediante la ecuación:

$$Qt = 0.312 \left( \frac{(D^{8/3}) * (S^{1/2})}{n} \right)$$

$$Qt = 0.312 \left( \frac{(0,346^{8/3}) \text{ m} * (0,027^{1/2}) \text{ m/m}}{0.010} \right) = 0,3025 \text{ m}^3/\text{s}$$

Calculo de la velocidad a tubo lleno en el tramo P36 – Vertimiento es:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,3025 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \left( \frac{D^2}{4} \right)} = \frac{0,3025 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \left( \frac{0.346^2}{4} \right)} = 3,22 \text{ m/s}$$

La velocidad de 3.22 m/s es mayor a 0.60 lo cual es el mínimo permitido, por lo tanto esta bien.

El caudal de aguas residuales calculado anteriormente es:  **$Q_{AR} = 14.91 \text{ L/s}$**

- **CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS DEL TRAMO POZO 36 – POZO 36A**

$$Q_{\text{LLENO}} = 302,49 \text{ L/s}$$

$$Q \text{ Aguas residuales} = 14.91 \text{ L/s}$$

Para:

$$\frac{q}{Q} = \frac{14.91 \text{ L/S}}{302,49 \text{ L/S}} = 0.05$$

$$\frac{v}{V} = 0,426$$

$$v = 0,426 * 3,22 = 1,37$$

$$\frac{d}{D} = 0.168$$

$$d = 0,168 * 0,346 = 0,058$$

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{1,37}{19,6} = 0,096$$

- **CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS PARA CAUDAL TOTAL TRAMO POZO 36 A POZO 36A**

$$Q_{\text{LLENO}} = 302,49 \text{ L/s}$$

$$\text{Velocidad a tubo lleno} = 3.22 \text{ m/s}$$

$$Q \text{ Aguas residuales} + \text{aguas lluvias} = 289.74 \text{ L/s}$$

$$\frac{q}{Q} = \frac{289.74 \text{ L/S}}{302,49 \text{ L/S}} = 0.96$$

**Velocidad real**

$$\frac{v}{V} = 1,037$$

$$v = 1,037 * 3,22 \text{ m/s}$$

$$v = 3,34 \text{ m/s}$$

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{3,34^2}{28} = 0,0057$$

### Altura de lámina de agua

$$\frac{d}{D} = 0.875$$

$d = 0,875 * 0,346$  (que corresponde al diametro de la tubería interno)

$$d = 0.303 \text{ m}$$

- **CAUDAL POR VERTER AGUAS LLUVIAS**

Caudal total – caudal aguas residuales

$$289,77 \text{ L/s} - 14,91 \text{ L/s} = 274,83 \text{ L/S}$$

Fórmula Gómez Navarro

$$L = \frac{Q}{0.75 \times H^{\frac{3}{2}}}$$

$$H = \frac{d}{D} \text{ conducto de llegada} - \frac{d}{D} \text{ aguas diluidas}$$

$$H = 0,303 - 0,096 = 0,21$$

$$L = \frac{0,275 \text{ m}^3}{0,75 \times 0,21^{\frac{3}{2}}} = 3,81 \text{ mts} = 4 \text{ mts}$$

Esta sera la longitud del aliviadero.

- **CÁLCULO CONDUCTO DE SALIDA**

Cota batea en el vertimiento 1 = 627.834

Cota clave en Vertimiento 1 = 627.834 + 0,346 = 628.18

Cota terreno en Vertimiento 1 = 628.18 + 1.02 = 629.20

Cota a la orilla del río = 629.72

Altura lámina del río – cota = 7.34 mts

Altura máxima creciente del río = 6.38 mts

Cota pendiente para excavacion = 629.72 – 7.34 = 622.38

Se suma la altura máxima de la creciente del río +0.20 metros mínimo por seguridad.

$$622.38 + 6.38 + 0.20 = 628.96$$

**Cálculo de la pendiente en vertimiento 1 – Río**

$$S = \frac{629.20 - 628.98}{16.47} = 0,015 \text{ m/m}$$

**Cálculo tubería salida aliviadero**

$$D = 1.548 \left( \frac{n \times q}{s^{0.5}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

$$D = 1.548 \left( \frac{0.010 \times 0.0149}{0.015^{0.5}} \right)^{\frac{3}{8}} = 0.125 \text{ m}$$

Como no existe una tubería de dicho diámetro (125 mm), se diseñará la tubería de salida del aliviadero con un diámetro de 219,08 mm exterior y 186,62 mm interior, que corresponde a una tubería de 8”.

**Calculo Q tubo lleno a la salida del aliviadero**

$$Q = 0.312 \left( \frac{(0,187^{8/3}) \text{ m} * (0,015^{1/2}) \text{ m/m}}{0,010} \right) = 0.04369 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

**Velocidad tubo lleno de la salida del aliviadero**



$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.034369 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi\left(\frac{0,187^2}{4}\right)} = 1,59 \text{ m/s}$$

- **CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS PARA CAUDAL CONDUCTO DE SALIDA**

$$Q_{\text{LLENO}} = 43,69 \text{ L/s}$$

Velocidad a tubo lleno = 1.59 m/s

$$q = 14,91 \text{ Q}_{\text{AR}}$$

$$\frac{q}{Q} = \frac{14,91 \text{ L/S}}{43,69 \text{ L/S}} = 0,34$$

**Velocidad real**

$$\frac{v}{V} = 0,763$$

$$v = 0,763 * 1.59 \text{ m/s}$$

$$v = 1.21 \text{ m/s}$$

**Altura de lámina de agua**

Condiciones de espesor de lamina y velocidad en el conducto de llegada

$$\frac{d}{D} = 0,453$$

$$d = 0,453 * 0,187 \text{ (que corresponde al diámetro interno de la tubería)}$$

$$d = 0,085 \text{ m}$$

$$\frac{v^2}{2 * g} = \frac{1,21^2}{2 * 9,81} = 0,075$$

- **DETERMINACION DE LA CAÑUELA**

$$Q_{\text{LLENO}} = 436,9 \text{ L/s}$$

$$436,9 \text{ L/s} - 274,83 \text{ L/s} = 162,07 \text{ L/s}$$

$$\frac{q}{Q} = \frac{162,07 \text{ L/S}}{436,9 \text{ L/S}} = 0,37$$

$$\frac{d}{D} = 0,475$$

$$d = 0,475 * 0,187 \text{ (que corresponde al diámetro de la tubería)}$$

$$d = 0,09 \text{ m}$$

$$\theta = 2 \text{ arc cos} \left( 1 - \frac{d}{R} \right)$$

$$\theta = 2 \text{ arc cos} \left( 1 - \frac{0,09}{0,045} \right) = 2\pi \text{ rad}$$

$$rh = \frac{D}{4} \left( 1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta} \right)$$

$$rh = \frac{0,187}{4} \left( 1 - \frac{\text{sen } 2\pi \text{ rad}}{2\pi \text{ rad}} \right) = 0,057$$

$$R^{2/3} = 0,047^{2/3} = 0,130$$

- **VELOCIDAD PROMEDIO**

$$\frac{3,34 + 1,21}{2} = 2,28$$

### **Pérdida por fricción en L = 4 mts**

$$h = 0,0826 * F * \left( \frac{Q^2}{D^5} \right) * L$$

$$h = 0,0826 * 0,0015 * \left( \frac{0,04369^2}{0,1875^5} \right) * 4 = 0,0041 \text{ m ó } 0.41 \text{ cm}$$

### **Pérdida de energía por transición**

$$0,169 - 0,140 = 0,029$$

$$H_e = 0,2 * 0,029 = 0,0058 = 0,58 \text{ cm} \approx 1 \text{ cm}$$

- **CONDICIÓN DE EMPATE DE ENERGÍA PARA EL CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES DILUIDAS**

Cota batea en el vertimiento 1 = 627.82

Suponemos una pérdida de 2,3 cm en el pozo:

$$627.82 - 0,023 = 627,79$$

Cota de fondo de la tubería de llegada = 627.82

### **Cota de energía en tubería de llegada**

$$627.82 + d/D \text{ (Aguas lluvias)} + V^2/2g \text{ (aguas lluvias)}$$

$$627.82 + 0,303 + 0,0057 = 628,13$$

### **Cota de energía en tubería de salida**

$$628,13 - (0,0041 + 0,0058) = 628,12$$

### **Cota de fondo de tubería de salida**

$$628,12 - d/D \text{ (conducto de salida)} + V^2/2g \text{ (conducto de salida)}$$

$$628,12 - (0,085 + 0,075) = 627,96$$

**Cota clave en tubería de salida**

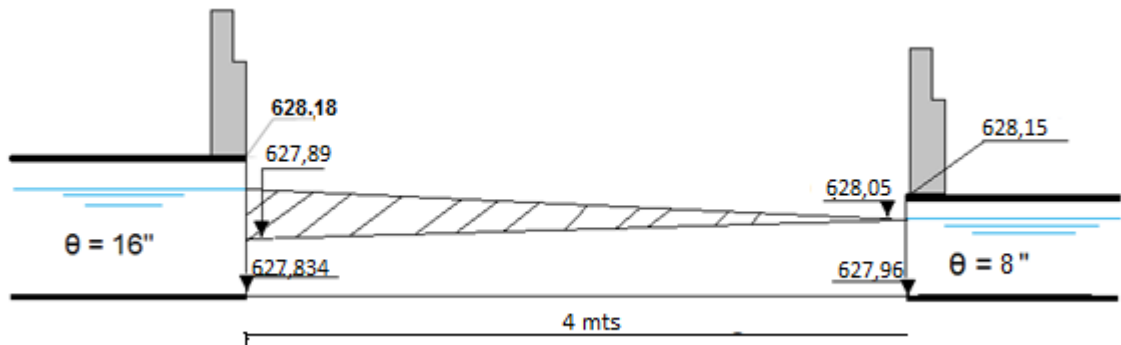
$$627,96 + 0,187 = 628,15$$

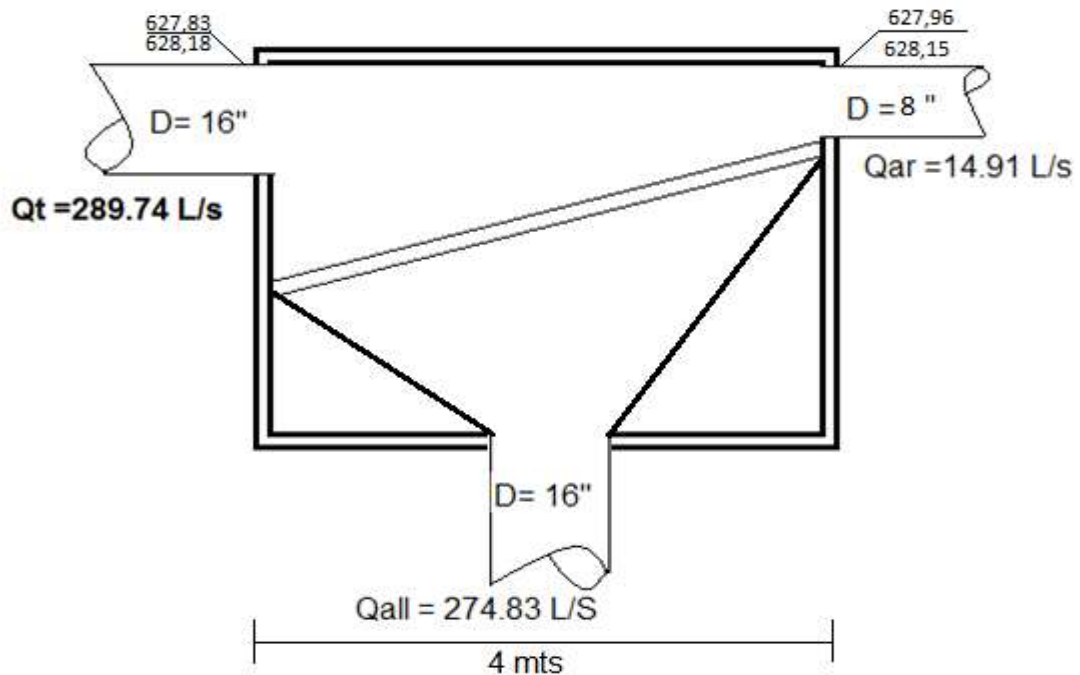
- **COTA CRESTA VERTEDERO**

$$\text{Aguas arriba} = 627.834 + 0.058 = 627,89$$

$$\text{Aguas abajo} = 627.54 + 0.085 = 627.71$$

*Figura 15. Esquema Aliviadero*





- **ESTRUCTURAS DE CONEXIÓN**

La unión de dos o más tramos de colectores debe hacerse con estructuras hidráulicas denominadas estructuras de conexión. Usualmente son pozos de unión o conexión. Estas estructuras están comunicadas con la superficie mediante pozos de inspección, los cuales permiten el acceso para la revisión y mantenimiento de la red. El término pozo de inspección usualmente hace referencia al conjunto estructura de conexión-pozo de inspección. Por lo general la estructura es cilíndrica en su parte inferior y de cono truncado en su parte superior. Sus dimensiones deben ser suficientemente amplias para que el personal de operación y mantenimiento pueda ingresar y maniobrar en su interior.<sup>57</sup>

<sup>57</sup> REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS -2000. Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales. Bogotá D.C. República de Colombia. Ministerio de Desarrollo Económico. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. 2000. 97 Pág. Sección II. TÍTULO D.

- Número de FROUDE

$$F = \frac{V}{\sqrt{g * h'}}$$

$h'$  = profundidad del agua

- Características Hidraulicas Para El Caudal Tramo Pozo 36 – Pozo 36A

$$Q_{\text{LLENO}} = 302,49 \text{ L/s}$$

$$\emptyset = 0,346$$

$$Q_{\text{Aresidual} + \text{Alluvia}} = 289,74 \text{ L/s}$$

$$\frac{q}{Q} = \frac{289,74 \text{ L/s}}{302,49 \text{ L/s}} = 0,96$$

$$\frac{v}{V} = 1,037$$

$$V = 1,037 * 3,22$$

$$V = 3,34 \text{ m/s}$$

$$\frac{h}{D} = 0,875$$

$$h = 0,875 * 0,346$$

$$h = 0,303$$

$$\frac{d}{D} = 1,103$$

$$d = 1,103 * 0,346$$

$$d = 0,38 \text{ m}$$

$$F = \frac{3,34}{\sqrt{9,81 * 0,38}} = 1,73$$

Para lograr un flujo estable, se considero que el numero de Froude debe ser menor de 0,90 y mayor de 1,10.

$$NF = 1,73$$

$$0,90 \leq NF \leq 1,10$$

- Pozo 36A

$$\frac{V^2}{2g} = \text{cabeza de energia}$$

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{3,34 \text{ m}^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}} = 0,0057 \text{ m}$$

El empate de los pozos se realiza por medio de la linea de energia:

$$hf = 0,5 \left( \frac{V_s^2}{2g} - \frac{V_e^2}{2g} \right)$$

$V_s$  = Velocidad de salida

$V_e$  = Velocidad de entrada

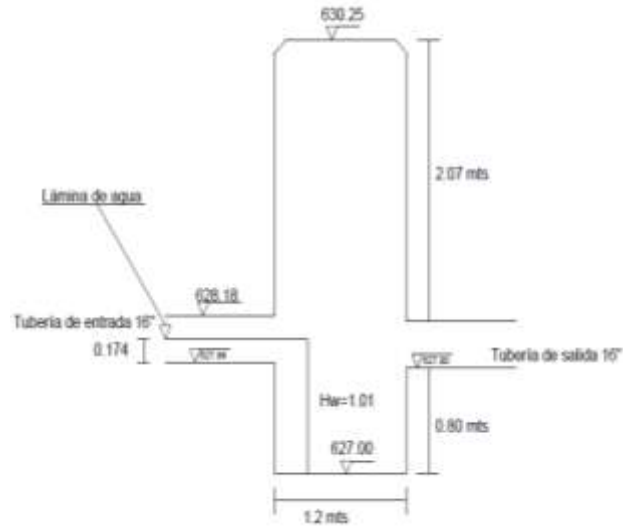
Ya que solo es un cambio de dirección y mantiene en mismo diametro, la velocidad de salida sera igual a la de entrada.

$$hf = 0,5 \left( \frac{0,00576^2}{2 * 9,81} - \frac{0,0057^2}{2 * 9,81} \right) = 0$$

Si  $hf = 0$ , entonces tomamos un valor minimo de  $hf = 0,02$

- **POZO INSPECCIÓN 1**

*Figura 16. Esquema del empate del pozo 1*



Cota clave entrada : 628,18  
 Cota batea entrada : 627,84  
 Cota línea de agua entrada : 628,14

Cota clave salida : 628,16  
 Cota batea salida : 627,82  
 Cota lamina de agua : 628,12

**Cota línea de energía** = cabeza de energía + altura lamina de agua

Cota línea de energía entrada :  $0,0057 \text{ m} + 0,303 = 0,309$

Cota línea de energía entrada :  $628,14 + 0,309 = 628,45$

Cota línea de energía salida :  $628,12 + 0,309 = 628,43$

- **Pozo 36 B**

Cota clave salida aliviadero : 627,72

Cota clave entrada pozo : 627,68

Distancia : 11,95 m



$$S = \frac{627,72 - 627,68}{11,95} = 0,33 \%$$

$$Q_{\text{aguas residuales}} = 0,01491 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\varnothing_{\text{tuberia}} = 8'' = 0,187 \text{ m}$$

$$Q = 0,312 \left( \frac{(0,187^{8/3}) * (0,0033^{1/2})}{0,010} \right) = 0,02050$$

Entonces :

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

$$V = \frac{0,02050}{\pi \left( \frac{0,187^2}{4} \right)} = 0,75 \text{ m/s}$$

$$Q_{\text{LLENO}} = 20,50 \text{ L/s}$$

$$q_{\text{AR}} = 14,91 \text{ L/s}$$

$$\frac{q}{Q} = \frac{14,91 \text{ L/s}}{20,50 \text{ L/s}} = 0,73$$

$$\frac{v}{V} = 0,967$$

$$v = 0,967 * 0,75 = 0,73$$

$$\frac{h}{D} = 0,654$$

$$h = 0,654 * 0,187 = 0,122$$

$$\frac{d}{D} = 0,708$$

$$d = 0,708 * 0,187 = 0,132$$

$$F = \frac{0,73}{\sqrt{9,81 * 0,132}} = 0,64$$

- Cabeza de energia

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{0,73^2}{2 * 9,81} = 0,027$$

Se calcula con las siguientes ecuaciones :

$$\frac{Hw}{\phi} = K \left[ \frac{Hc}{\phi} + \frac{He}{\phi} \right]$$

$$Hc = Yc + \frac{Vc^2}{2g}$$

$$Yc = \left( \frac{1,01}{\emptyset^{0,26}} \right) * \left( \frac{Q^2}{g} \right)^{0,25}$$

$$Vc = \sqrt{Yc * g}$$

$$\frac{He}{\emptyset} = (0,589) \left( \frac{0,319 Q}{g} \right)^{0,25}$$

Entonces :

$$Yc = \left( \frac{1,01}{0,346^{0,26}} \right) * \left( \frac{0,290^2}{9,81} \right)^{0,25} = 0,41$$

$$Vc = \sqrt{0,41 * 9,81} = 2,00$$

$$Hc = 0,41 + \frac{2^2}{2(9,81)} = 0,61$$

$$\frac{He}{\emptyset} = (0,589) \left( \frac{0,319 (0,290)}{9,81} \right)^{0,25} = 0,064$$

$$\frac{Hw}{\emptyset} = 1,5 \left[ \frac{0,61}{0,346} + \frac{0,064}{0,346} \right] = 1,01 \text{ mts}$$

**Cota batea tubo de salida + lámina de agua = 627,84 + 0,174 = 628,014**

628,014 – Hw = cota batea tubo de salida

628,014 – 1,01 = 627,00

El diametro seguira siendo el mismo de 16", ya que solo estamos haciendo un cambio de dirección del caudal.

- **POZO DE INSPECCIÓN 2**

**Cota clave : 627,722**

**Cota clave entrada colector 2 : 627,70**

**Distancia : 11,95 mts**

$$\text{Pendiente} = S = \frac{627,72 - 627,70}{11,95} = 0,17 \%$$

**Calculo Q tubo lleno**

$$Q = 0.312 \left( \frac{(0,187^{8/3}) m * (0,0017^{1/2}) m/m}{0,010} \right) = 0.01471 \frac{m^3}{s}$$

**Tuberia de entrada = 8" = 0,187 mts.**

**Cota terreno colector 2 = 631,12**

$$Q = 0.01419 \text{ m}^3/\text{s}$$

$D\emptyset \leq 27''$  entonces  $D_p = 1,2$

$$\frac{D_p}{D\emptyset} = \frac{1,2}{8''} = 0,15$$

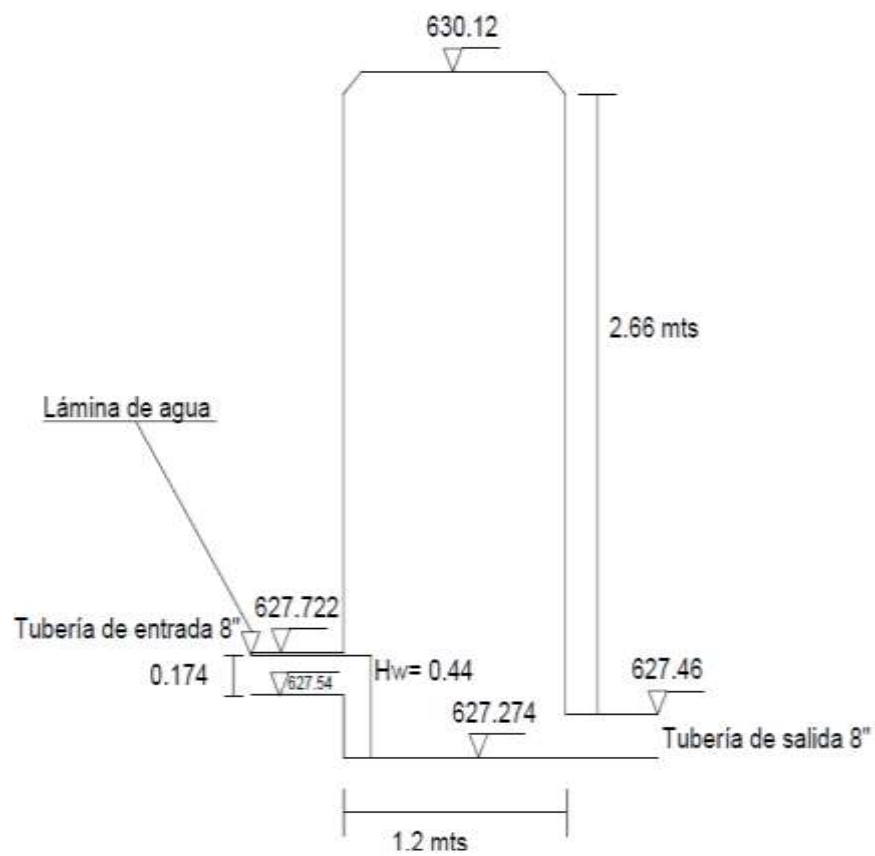
Entonces  $k = 1,5$

$$\frac{H_w}{\emptyset} = K \left[ 0,7 + 1,91 \left( \frac{0,319 Q}{\emptyset^{2,5}} \right)^2 \right]$$

$$\frac{H_w}{\emptyset} = 1,5 \left[ 0,7 + 1,91 \left( \frac{0,319 * 0,01419}{0,187^{2,5}} \right)^2 \right] = 0,24 \text{ mts}$$

Se le suma a  $H_w$  0,20 de seguridad dando un total de 0,44 mts.

Figura 17. Esquema Pozo de Inspección 2



- **POZO DE INSPECCIÓN 3**

**Cota terreno : 630,82**

**Cota clave salida pozo 2 : 627,46**

**Distancia : 45,29 mts**

**Cota clave entrada pozo 3 : 627,32**

$$S = \frac{627,46 - 627,32}{45,29} = 0,0030 \approx 0,30 \%$$

$$q = 14,19 \text{ L/s} + 0,065 \text{ L/s} = 14,26 \text{ L/s} \approx 0,01426 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Calculo Q tubo lleno**

$$Q = 0,312 \left( \frac{(0,187^{8/3}) m * (0,003^{1/2}) m/m}{0,010} \right) = 0,01954 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \approx 19,54 \text{ L/s}$$

$$\frac{q_{AR}}{Q} = \frac{14,26 \text{ L/s}}{19,54 \text{ L/s}} = 0,7$$

$$\frac{d}{D} = 0,210$$

$$d = 0,210 * 0,187 = 0,039$$

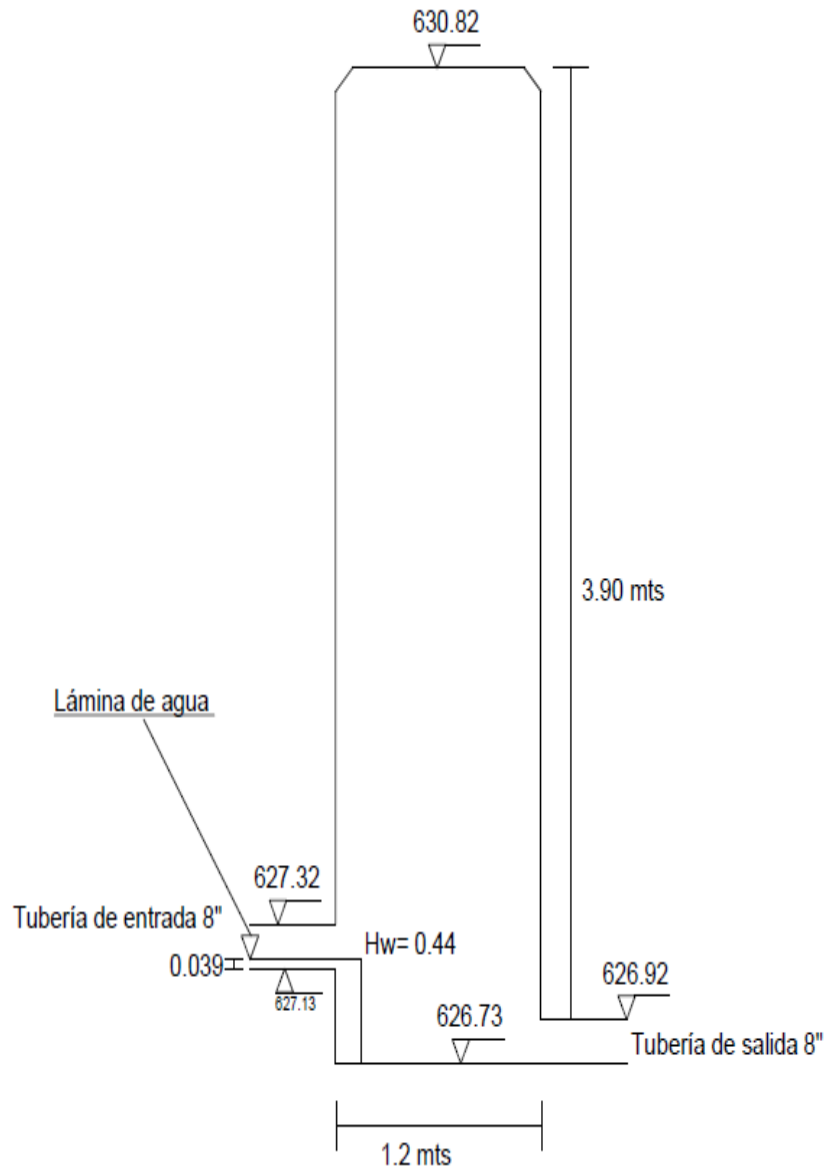
Entonces :

$$\frac{Hw}{\emptyset} = K \left[ 0,7 + 1,91 \left( \frac{0,319 Q}{\emptyset^{2,5}} \right)^2 \right]$$

$$\frac{Hw}{\emptyset} = 1,5 \left[ 0,7 + 1,91 \left( \frac{0,319 * 0,01426}{0,187^{2,5}} \right)^2 \right] = 0,24 \text{ mts}$$

Se le suma a Hw 0,20 de seguridad dando un total de 0,44 mts.

Figura 18. Esquema Pozo de Inspección 3



- **POZO DE INSPECCIÓN 4**

**Cota terreno : 630,68**

**Cota clave salida pozo 3 : 626,92**

**Distancia : 52,84 mts**

**Cota clave entrada pozo 4 : 626,12**

$$S = \frac{626,92 - 626,12}{52,84} = 0,015 \approx 1,5 \%$$

$$q = 14,19 \text{ L/s} + 0,065 \text{ L/s} = 14,26 \text{ L/s} \approx 0,01426 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Calculo Q tubo lleno**

$$Q = 0,312 \left( \frac{(0,187^{8/3}) \text{ m} * (0,015^{1/2}) \text{ m/m}}{0,010} \right) = 0,04370 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \approx 43,70 \text{ L/s}$$

$$\frac{q_{AR}}{Q} = \frac{14,26 \text{ L/s}}{43,70 \text{ L/s}} = 0,33$$

$$\frac{d}{D} = 0,447$$

$$d = 0,447 * 0,187 = 0,0$$

Entonces :

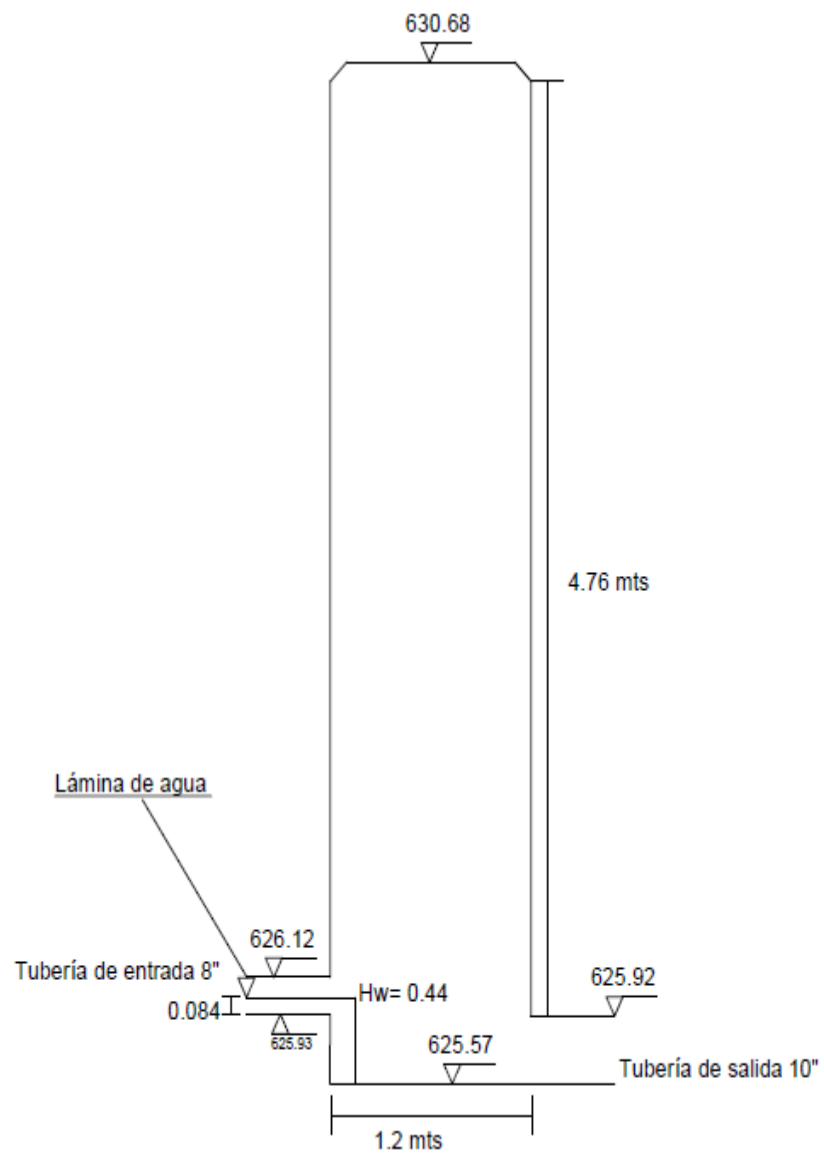
$$\frac{Hw}{\phi} = K \left[ 0,7 + 1,91 \left( \frac{0,319 Q}{\phi^{2,5}} \right)^2 \right]$$

$$\frac{Hw}{\phi} = 1,5 \left[ 0,7 + 1,91 \left( \frac{0,319 * 0,01426}{0,187^{2,5}} \right)^2 \right] = 0,24 \text{ mts}$$

Se le suma a Hw 0,20 de seguridad dando un total de 0,44 mts.



Figura 19. Esquema Pozo de Inspección 4

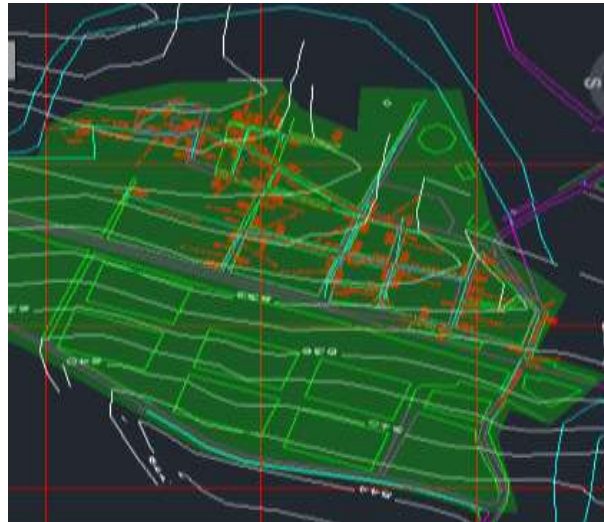


## 8. DISEÑO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Área localidad total = 25,71 hectáreas.

Área <sub>1</sub> Casco Urbano mayor = 22,24 ha

*Figura 20. Área 1: Casco urbano mayor*



Área <sub>2</sub> Casco Urbano mayor = 3,47 ha

*Figura 21. Área 2: Casco urbano menor*

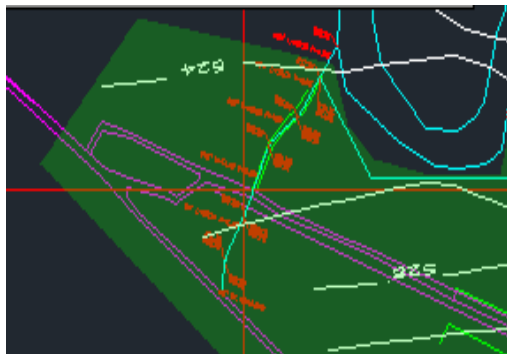
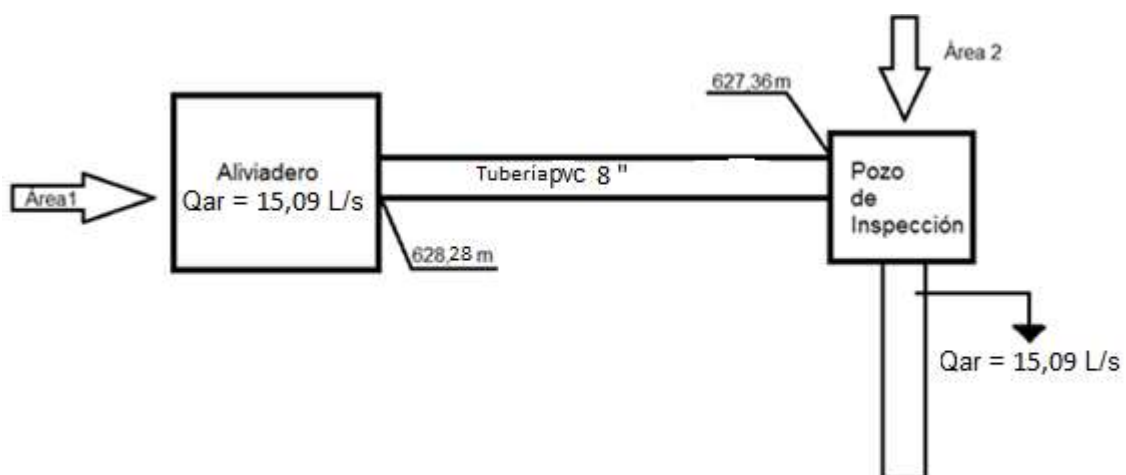


Figura 22. Esquema aliviadero - pozo de inspección



## DISEÑO DEL POZO DE INSPECCIÓN

Un pozo de inspección es una estructura hidráulica utilizada para la conexión de dos o más tramos de colectores. Estas estructuras permiten el acceso para la revisión y mantenimiento de la red. Por lo general, la forma del pozo de inspección es cilíndrica en su parte inferior y de cono truncado en la parte superior. Sus dimensiones deben ser suficientemente amplias para que personal de mantenimiento pueda ingresar y maniobrar en su interior<sup>58</sup>. El pozo de inspección será prefabricado. (Ver anexo B, Plano pozo de inspección)

### 8.1 CÁLCULO DEL CANAL DE ENTRADA

El canal de entrada es la estructura donde las aguas residuales a tratar llegan a la PTAR. Este canal sirve como emisor final de las aguas residuales. Se propone un canal a cielo abierto y con sección rectangular con un ancho igual a  $0,40 \text{ m}$ , que sale del aliviadero hacia el vertedero del casco urbano menor, con el fin de mantener la velocidad constante.

<sup>58</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Caudales de diseño y canal de entrada. [en línea]. <[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358003/Residuales\\_Contentido\\_en\\_linea/leccin\\_11\\_pozos\\_de\\_inspeccion.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358003/Residuales_Contentido_en_linea/leccin_11_pozos_de_inspeccion.html)> [citado en 20 de octubre de 2016]

Base = 40 cm

Velocidad = 0,30 – 0,60 m/s (1 – 2 ft/s). (*Velocidad de aproximación propuesta por Crites y Tchobanoglous, Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones, pág. 249*)

$$Q_{\text{DISEÑO PTAR}} = 15,09 \text{ L/s} \approx 0,01509 \text{ m}^3/\text{s}$$

De la ecuación 8.1 se despeja A y sustituyendo el valor del caudal máximo horario calculado en el capítulo 7 tabla 12, se obtiene:

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0,01509 \text{ m}^3/\text{s}}{0,6 \text{ m/s}} = 0,02515 \text{ m}^2$$

Despejamos Y de la ecuación 8.2 obteniendo:

$$Y = A / b$$

$$Y = 0,02515 \text{ m}^2 / 0,40 \text{ m}$$

$$Y = 0,063 \text{ m.}$$

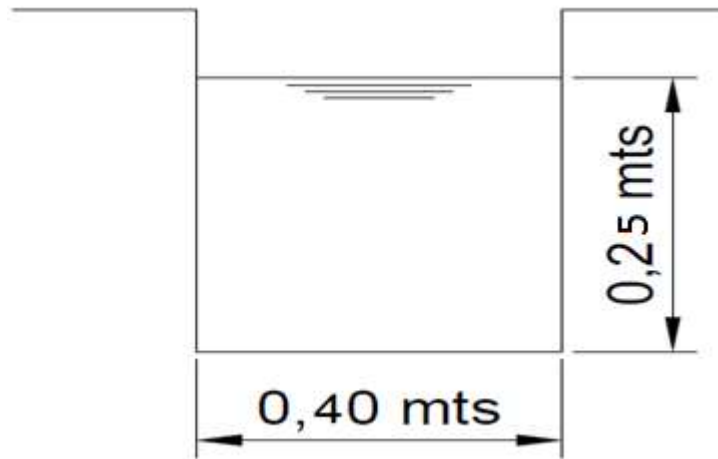
Se considera 15 cm adicionales para que el canal no trabaje a tope.

### CONVERSIÓN DE UNIDADES

$$0,063 \text{ m} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 6,3 \text{ cm}$$

$$Y = 6,3 \text{ cm} + 15 \text{ cm} = 21,3 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

Figura 23 Detalle sección transversal del canal de entrada



## 8.2 DISEÑO DE LAS REJILLAS

El primer paso en el tratamiento preliminar de las aguas negras tiene como objetivo la separación del material sólido que pueda afectar el funcionamiento de la PTAR. El procedimiento más habitual es hacer pasar las aguas negras por unas rejillas o tamices.

Las rejillas se construyen con barras de acero soldadas a un marco que se ubica transversalmente al canal de entrada. Estas barras de acero están situadas verticalmente o con una inclinación de 30° a 80° con respecto a la horizontal del canal. Estas rejillas se pueden limpiar a mano o mecánicamente. La tabla a continuación muestra las características tanto de la limpieza manual como de la limpieza mecánica.

Tabla 21. Información usual para el diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual

Parámetro	Unidad	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Tamaño de la barra:			
Ancho	pulg	0.2-0.6	0.2-0.6
Profundidad	pulg	1.0-1.5	1.0-1.5
Espaciamiento entre barras	pulg	1.0-2.0	0.6-3.0
Inclinación con la vertical	grad.	30-45	0-30
Velocidad de aproximación	pie/s	1.0-2.0	2.0-3.25
Pérdidas admisibles	pulg	6	6

Fuente: Crites y Tchobanoglous, *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*, pág. 249

Estas rejillas son utilizadas para proteger el funcionamiento de los elementos principales de la PTAR, con el fin de evitar posibles daños y obstrucciones que son provocados por la presencia de objetos de gran tamaño.

Cuando se acumula demasiado material grueso en las rejillas se aumenta el nivel del agua en el canal de entrada. En este momento, las rejillas deben limpiarse al momento de que el agua alcance su nivel de agua máximo definido. No se puede dejar acumular mucho material grueso o grande en las rejas ya que esto impide que los materiales de menor tamaño no puedan pasar por ellas.

### CRITERIO DE DISEÑO DE LAS REJILLAS

- **Inclinación de las rejillas = 50°** con respecto a la horizontal del canal de entrada.
- Espesor de las barras **S = 0,0127 m = Ø 1/2**
- Separación libre entre cada barra **e = 1" = 2,54 cm = 0,0254 m**
- Ancho del canal de entrada **b = 0,40 m**
- Velocidad a través de la reja limpia = **0,30 m/s – 1 pie/s** (Tabla 13. Información usual para el diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual.)
- Velocidad a través de la reja obstruida = **0,60 m/s – 2 pie/s** (Tabla 13. Información usual para el diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual.)

#### 8.2.1 CÁLCULO DE ÁREA LIBRE (A<sub>L</sub>)

$$AL = \frac{\text{Caudal Aguas Residuales}}{\text{Velocidad reja obstruida}} \quad \text{Ecuación 8.4}$$

$$AL = \frac{0,01509 \text{ m}^3/\text{s}}{0,6 \text{ m/s}} = 0,02515 \text{ m}^2$$

Ya que se propone un ancho de canal de entrada  $b = 0,40 \text{ m}$ , se calcula el tirante de agua en el canal y como la forma del canal es rectangular, se utiliza:

$$A = b * h$$

Dónde:

A = el área del canal (m)

b = ancho del canal de entrada

h = tirante del flujo en el canal.

Si despejamos **h** obtenemos:

$$h = A / b$$

$$h = 0,02515 \text{ m}^2 / 0,40 \text{ m}$$

$$h = 0,063 \text{ m}$$

Ahora, se calcula la suma de separaciones entre barras  $bg$ :

$$b = \left( \frac{bg}{e} - 1 \right) (S + e) + e \quad \text{Ecuación 8.5}$$

Dónde:

b = ancho del canal en mm

$bg$  = suma de las separaciones entre las barras en mm.

e = separación entre barras en mm. ( $e = 1'' = 2,54 \text{ cm} = 25,4 \text{ mm}$ )

S = espesor de las barras en mm. ( $12,7 \text{ mm}$ )

$$400 \text{ mm} = \left( \frac{bg}{25,4 \text{ mm}} - 1 \right) (12,7 \text{ mm} + 25,4 \text{ mm}) + 25,4 \text{ mm}$$

$$400 \text{ mm} = \left( \frac{bg}{25,4 \text{ mm}} - 1 \right) (38,1 \text{ mm}) + 25,4 \text{ mm}$$

$$\frac{400 \text{ mm} - 25,4 \text{ mm}}{38,1 \text{ mm}} = \left( \frac{bg}{25,4 \text{ mm}} - 1 \right)$$

$$9,83 \text{ mm} + 1 = \left( \frac{bg}{25,4 \text{ mm}} \right)$$

$$bg = 10,83 \text{ mm} * 25,4 \text{ mm}$$

$$bg = 275,052 \text{ mm}$$

$$\text{Hipotenusa} = h / \text{sen } \emptyset^\circ \quad \text{Ecuación 8.6}$$

$$\text{Hipotenusa} = 0,063 / \text{sen } 50^\circ$$

$$\text{Hipotenusa} = 0,04826 \text{ m}$$

$$A_E = \text{Área de espacios} \quad \text{Ecuación 8.7}$$

$$A_E = \text{Hipotenusa} * bg$$

$$A_E = 0,04826 \text{ m} * 0,2751 \text{ m}$$

$$A_E = 0,01328 \text{ m}^2$$

Ahora se calcula la velocidad que fluye a través de la rejilla con la ecuación 8.1 descrita anteriormente:

$$Q = \text{Velocidad} * \text{Área}$$

Se despeja V quedando:

$$V = Q / A$$

$$V = \frac{(0,01509 \text{ m}^3/\text{s})}{0,01328 \text{ m}^2}$$

$$V = 1,14 \text{ m/s}$$

Luego se calcula el número de barras necesarias para las rejillas:

$$n^\circ = (bg / e) - 1 \quad \text{Ecuación 8.8}$$

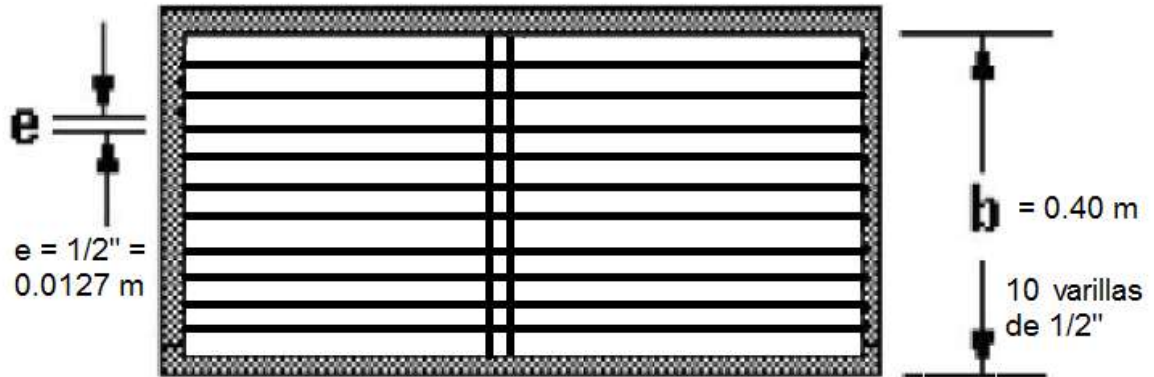
$$n^\circ = (275,052 \text{ mm} / 25,4 \text{ mm}) - 1$$

$$n^\circ = 9,82 \text{ barras.}$$

Como  $n^\circ = 9,82$  mm, necesitaríamos 10 varillas de ½”



Figura 24. Disposición de las varillas



### 8.2.2 COMPROBACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARGA $\leq 15$ CM EN LAS REJILLAS

La ecuación que utilizaremos a continuación es propuesta por Crites y Tchobanoglous en el libro "Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones", pág. 249.

$$hL = \frac{1}{0,7} \left( \frac{V^2 - v^2}{2g} \right) \text{ Ecuación 8.9}$$

Fuente: Crites y Tchobanoglous, *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*, pág. 249

Dónde:

$h_L$  = Pérdida de carga, en m.

$V$  = Velocidad de flujo a través del espacio entre barras, en m/s.

$v$  = Velocidad de aproximación del fluido hacia la reja, en m/s. (Tabla 13. Información usual para el diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual.)

$g$  = gravedad =  $9,81 \text{ m/s}^2$

$$hL = \frac{1}{0,7} \left( \frac{(1,14 \text{ m/s})^2 - (0,30 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2} \right)$$

$$hL = \frac{1}{0,7} * \frac{1,299 - 0,09}{19,62}$$

$$hL = \frac{1}{0,7} * \frac{1,209}{19,62}$$

$$hL = 0,0616 \text{ mts} = 6,16 \text{ cm} = 2,43''$$

De acuerdo a la tabla 13 las pérdidas admisibles son de 6", lo que indica que cumple con lo establecido.

### 8.3 DISEÑO DEL DESARENADOR

El desarenador es una estructura hidráulica que tiene como función principal remover las partículas de cierto tamaño que la captación de una fuente superficial permite pasar. Se utilizan en tomas para acueductos, centrales hidroeléctricas, plantas de tratamiento y en sistemas industriales.<sup>59</sup>

Esta estructura contiene una compuerta que ayuda a controlar las partículas grandes de gravas y arenas separándolas para luego removerlas. La velocidad de las aguas residuales es controlada para permitir que las gravas y arenas se sedimenten, esto con el fin de prevenir daños en los accesorios o equipos de los tratamientos restantes. (Ver anexo C, Plano desarenador)

#### Parámetros de diseño:

Tabla 22. Clasificación de materiales en suspensión según el tamaño

Gravilla gruesa	: 2 mm o más	Fango	0.05 a 0.01 mm
Gravilla fina	: 2 mm - 1 mm	Fango fino	0.01 a 0.005 mm
Arena gruesa	: 1 mm - 0.5mm	Arcilla	0.01 a 0.001 mm
Arena media	: 0.5 mm - 0.25 mm	Arcilla fina	0.001 a 0.0001 mm
Arena fina	: 0.25mm - 0.1mm	Arcilla coloidal menor de 0.0001 mm	
Arena muy fina	: 0.1 mm - 0.05 mm		

<sup>59</sup> ESCUELA DE INGENIERIA DE ANTIOQUIA. Artículos [en línea]. <

<http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/desarenadores/desarenadores.html> > [citado en 20 de octubre de 2016]

**FUENTE:** *Diseño de acueductos y alcantarillados de Luis Felipe Silva Garavito*

*Tabla 23. Viscosidad del agua a la temperatura del agua*

T°c	$\mu\text{cm}^2/\text{seg}$	T°c	$\mu\text{cm}^2/\text{seg}$	T°c	$\mu\text{cm}^2/\text{seg}$
4°	0.0157	14°	0.0117	24°	0.0092
6°	0.0147	16°	0.0112	26°	0.0088
8°	0.0139	18°	0.0106	28°	0.0084
10°	0.0131	20°	0.0101	30°	0.0080
12°	0.0124	22°	0.0096		

**FUENTE:** *Diseño de acueductos y alcantarillados de Luis Felipe Silva Garavito*

*Tabla 24. Valores de a/t*

CONDICIONES	REMOCION 50%	REMOCION 75%	REMOCION 87y1/2%
1. Máximo teórico	0.500	0.750	0.875
2. Depósitos con muy buenos deflectores	0.730	1.520	2.370
3. Depósitos con buenos deflectores	0.760	1.660	2.750
4. Depósito con deflectores deficientes o sin ellos	1.00	3.00	7.00

**FUENTE:** *Diseño de acueductos y alcantarillados de Luis Felipe Silva Garavito*

Stokes dedujo la siguiente expresión:

$$V = \frac{g}{18} * \frac{(P_s - P)}{\mu} * d^2 \quad \text{Ecuación 8.10}$$

Fuente: *Luis Felipe Silva Garavito, Diseño de acueductos y alcantarillados, pág. 28*

Donde:

V = velocidad de sedimentación de las partículas en cm/s.

d = diámetro de las partículas en cm

$g$  = aceleración de la gravedad en  $\text{cm/s/s} = 981$

$P_s$  = peso específico de la partícula (arena = 2.65)

$P$  = peso específico del líquido (agua = 1)

$\mu$  = viscosidad del agua a la temperatura del agua – 20 °C.

Entonces:

$$\text{Caudal} = 0,01509 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sedimentar el 75% de las partículas de arena muy fina (TABLA 22) 0.05 mm = 0.005 cm

Temperatura del agua = 20°C = 0.0101  $\text{cm}^2/\text{s}$  (TABLA23)

De la ecuación 8.10, se calcula  $V$ :

$$V = \frac{981 \text{ cm/s}^2}{18} * \frac{(2,65 - 1)}{0,0101} * 0,005^2$$

$$\text{Velocidad de la partícula: } V = 0,223 \text{ cm/s}$$

Tomando una profundidad útil  $H = 1,50$  m (mínimo recomendado)

$$t = \frac{H}{V} \text{ Ecuación 8.11}$$

Entonces,

$$t = \frac{150 \text{ cm}}{0.223 \text{ cm/s}} = 673 \text{ s}$$

Como  $a/t = 3$  (TABLA 24) entonces,

$$a = t * 3$$

$$a = 673 * 3 = 2019 \text{ s.}$$

Chequeo de  $a$ :

$$\frac{1}{2} \text{ h} \geq a \leq 4 \text{ h}$$

$$a = 2019 \text{ s} / 3600 \text{ s}$$

$a = 0.56$ , por lo tanto, es correcto.

La capacidad C es igual =

$$C = Q_{\text{diseño}} * a \quad \text{Ecuación 8.12}$$

$$C = 0.01509 \text{ m}^3/\text{s} * 2019 \text{ s} = 30.47 \text{ m}^3$$

El área superficial será:

$$A = \frac{C}{H} \quad \text{Ecuación 8.13}$$

$$A = \frac{30.47 \text{ m}^3}{1.50 \text{ m}} = 20.31 \text{ m}^2$$

Como la relación L/B = 3/1

Entonces B =

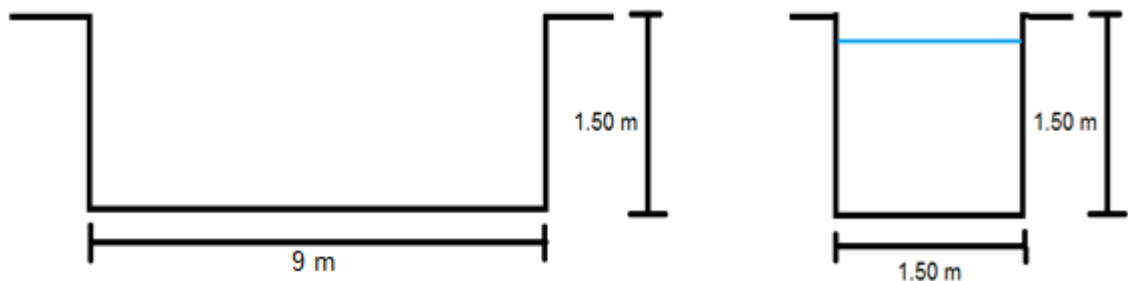
$$b = \sqrt{\frac{A}{3}} \quad \text{Ecuación 8.14}$$

$$B = \sqrt{\frac{20.31 \text{ m}^2}{3 \text{ m}}} = 2.60 \text{ m} \approx 3 \text{ m}$$

L = B \* 3, entonces:

$$L = 3 \text{ m} * 3 = 9 \text{ m}$$

Figura 25. Dimensiones del desarenador



Ahora se calcula el tiempo de retención  $t_r$  de la siguiente manera:

$$tr = \frac{h}{\text{Velocidad de sedimentación de partícula}} \quad \text{Ecuación 8.15}$$

$$tr = \frac{1,50 \text{ m}}{0,223 \text{ m/s}} = 6,73 \text{ s}$$

#### 8.4 DETERMINACIÓN DE LA CANALETA PARSHALL

La canaleta Parshall cumple un doble propósito en las plantas de tratamiento de aguas, de servir de medidor de caudales y en la turbulencia que se genera a la salida de la misma, servir de punto de aplicación de coagulantes.<sup>60</sup>

La canaleta está compuesta por tres partes fundamentales que son:

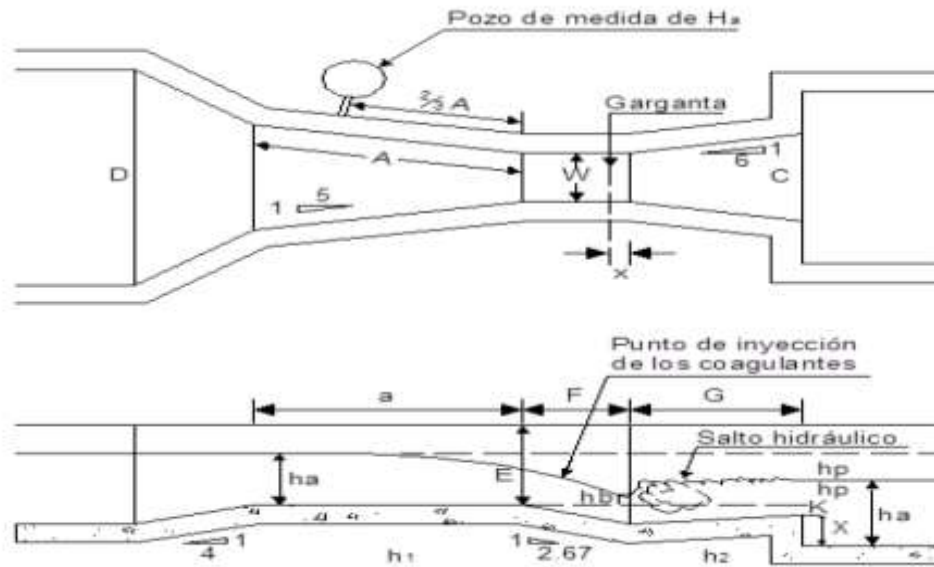
- **La entrada:** conformada por dos paredes verticales simétricas. El fondo es inclinado con una pendiente ascendente de 4:1
- **La garganta:** formada por dos paredes verticales paralelas con un fondo inclinado con una pendiente descendente de 2,67:1. La distancia de la garganta determina el tamaño del medido y se designa con la letra **w**.
- **La salida:** formada por dos paredes verticales divergentes con un fondo inclinado con una pendiente ascendente de 17,9:1.

Se pueden presentar dos tipos de flujos. Uno a descarga libre donde es necesario medir la carga  $H_a$  para hallar el caudal y otro donde presenta ahogamiento donde es necesario hallar tanto  $H_a$  como  $H_b$ .

*Figura 26. Dimensiones de la canaleta Parshall*

---

<sup>60</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Canaleta Parshall [en línea]. < [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido\\_en\\_linea\\_Disenio\\_de\\_Plantas\\_Potabilizadoras/eccin\\_20\\_canaleta\\_parshall.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Disenio_de_Plantas_Potabilizadoras/eccin_20_canaleta_parshall.html) > [citado en 20 de octubre de 2016]



**FUENTE:** UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Canaleta Parshall [en línea]. < <https://goo.gl/Hrl9XE> >

Los cálculos necesarios para la canaleta Parshall son:

$$T = 2W \quad \text{Ecuación 8.16}$$

Dónde:

T = ancho canal de entrada

W = Tamaño de la garganta (*Encontrado en la tabla 14 "dimensiones típicas de medidores Parshal (cm)" encontrado en el Manual de hidráulica de J.M. de Azevedo Netto y Guillermo Acosta Álvarez*)

Despejamos w:

$$W = T / 2$$

$$W = 0,20 \text{ m} / 2$$

$$W = 0,10 \text{ m} = 10 \text{ cm} = 3,93''$$

Como el resultado final de 3,93" ≈ 4" no existe en la tabla, se utilizará los datos del parámetro de 3"

*Tabla 25. Dimensiones típicas de medidores Parshall (cm)*

W	(Cm)	A	B	C	D	E	F	G	K	N
1"	2.5	36.6	35.6	9.3	16.8	22.9	7.6	20.3	1.9	2.9
3"	7.6	46.6	45.7	17.8	25.9	38.1	15.2	30.5	2.5	5.7
6"	15.2	62.1	61.0	39.4	40.3	45.7	30.5	61.0	7.6	11.4
9"	22.9	88.0	86.4	38.0	57.5	61.0	61.0	45.7	7.6	22.9
1'	30.5	137.2	134.4	61.0	84.5	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
1 1/2'	45.7	144.9	142.0	76.2	102.6	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
2'	61.0	152.5	149.6	91.5	120.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
3'	91.5	167.7	164.5	122.0	157.2	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
4'	122.0	183.0	179.5	152.2	193.8	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
5'	152.5	198.3	194.1	183.0	230.3	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
6'	183.0	213.5	209.0	213.5	266.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
7'	213.5	228.8	224.0	244.0	303.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
8'	244.0	244.0	239.2	274.5	340.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
10'	305.0	274.5	427.0	366.0	475.9	122.0	91.5	183.0	15.3	34.3

Los valores de la tabla anterior corresponden a las dimensiones de la canaleta.

W = Tamaño de la garganta

A = Longitud de la pared lateral de la sección convergente

B = Longitud axial de la sección convergente.

C = Ancho del extremo de aguas debajo de la canaleta.

D = Ancho del extremo de aguas arriba de la canaleta.

E = Profundidad de la canaleta.

F = Longitud de la garganta.

G = Longitud de la sección divergente.

K = Diferencia de nivel entre el punto más bajo de la canaleta y la cresta

N = Profundidad de la depresión en la garganta debajo de la cresta.



Para verificar el tamaño del medidor Parshall sea el adecuado, nos guiamos por el Manual de hidráulica de J.M. de Azevedo Netto y Guillermo Acosta Álvarez. Como se tiene un ancho de garganta = 3" entonces esto es igual a una capacidad mínima de caudal de 0,85 l/s y una capacidad máxima de caudal de 53,8 l/s lo que se puede deducir que está dentro del rango ya que el caudal de entrada de aguas residuales es igual a 4,89 l/s

Tabla 26. Límites de aplicación. Medidores Parshall con descarga libre.

W (pulg y cm)		Capacidad (l/s)	
		Mínima	Máxima
3	7,6	0,85	53,8
6	15,2	1,52	110,4
9	22,9	2,55	251,9
1'	30,5	3,11	455,6
1 1/2'	45,7	4,25	696,2
2'	61,0	11,89	936,7
3'	91,5	17,26	1 426,3
4'	122,0	36,79	1 921,5
5'	152,5	62,8	2 422
6'	183,0	74,4	2 929

FUENTE: Manual de hidráulica de J.M. de Azevedo Netto y Guillermo Acosta Álvarez

Tabla 27. Valores del exponente n y del coeficiente K.

W	(m)	n	K	
			Unidades métricas	Unidades inglesas
3"	0,076	1,547	0,176	0,0992
6"	0,152	1,580	0,381	2,00
9"	0,229	1,530	0,535	3,07
1'	0,305	1,522	0,690	4,00
1 1/2'	0,457	1,538	1,054	6,00
2'	0,610	1,550	1,426	8,00
3'	0,915	1,566	2,182	12,00
4'	1,220	1,578	2,935	16,00
5'	1,525	1,587	3,728	20,00
6'	1,830	1,595	4,515	24,00
7'	2,135	1,601	5,306	28,00
8'	2,440	1,606	6,101	32,00

FUENTE: Manual de hidráulica de J.M. de Azevedo Netto y Guillermo Acosta Álvarez

Para calcular el caudal de la canaleta, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = K * H^n \quad \textbf{Ecuación 8.17}$$

De la tabla 16 obtenemos los valores de n y k:

$$n = 1,547$$

$$K = 0,176$$

Utilizando la ecuación 8.17, queda la siguiente expresión:

$$Q = 0.176 * H^{1,547}$$

Para conocer el caudal que está circulando en la canaleta, basta con medir el tirante del agua con una regla o se instala un medidor junto a la pared (en metros) con el fin de determinar el valor H y así poder calcular el caudal. (Ver anexo D, *Canaleta Parshall*)

## 8.5 SEDIMENTADOR CIRCULAR PRIMARIO

El objetivo de un sedimentador es remover los residuos sólidos sedimentables y material flotante para disminuir la concentración de los mismos. Un sedimentador es empleado como pre tratamiento de agua residual ya que ayudan a remover entre un 50% al 70% de sólidos suspendidos y un 25% a un 40% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).<sup>61</sup>

### 8.5.1 FUNDAMENTOS DEL DISEÑO

Si los sólidos presentes en las aguas residuales tuvieran el mismo tamaño, la misma densidad, peso específico y forma uniforme, la eliminación de las partículas sería más fácil ya que dependería únicamente del área superficial del tanque y del tiempo de retención. Pero en realidad, la mayoría de los sólidos de las aguas residuales no presentan características uniformes debido a su naturaleza homogénea.

---

<sup>61</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Sedimentadores [en línea]. < [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccin\\_22\\_sedimentadores.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccin_22_sedimentadores.html) > [citado en 21 de octubre de 2016]

### 8.5.1.1 REMOCIÓN DE LA DBO Y SST

Para la remoción de la DBO y SST (Sólidos Suspendidos Totales) es posible realizarlo mediante el método de hipérbola regular según la siguiente expresión:

$$R = \frac{t}{a + bt}$$

Dónde:

R = Porcentaje de remoción de DBO o SST esperado en %

t = tiempo nominal de retención en horas

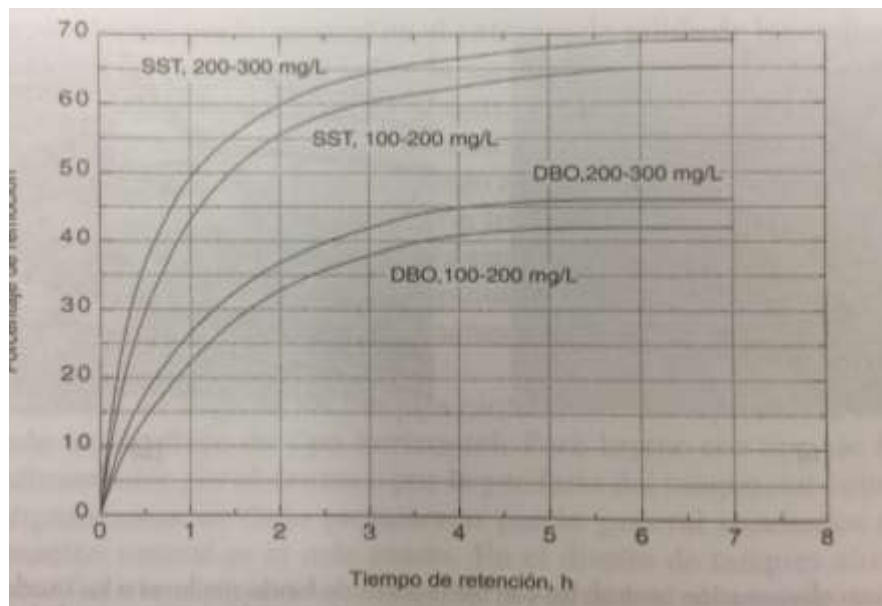
a,b = constantes empíricas

Tabla 28. Valores de las constantes empíricas a y b

Variable	a, h	b
DBO	0.018	0.020
SST	0.0075	0.014

**FUENTE:** *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones de Ron Crites y George Tchobanoglous.*

Figura 27. Remoción de DBO y SST en tanques de sedimentación primaria.



**FUENTE:** *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones de Ron Crites y George Tchobanoglous.*

### 8.5.1.2 TIEMPO DE RETENCIÓN Y CARGAS SUPERFICIALES

Estos tanques de sedimentación se proyectan para proporcionar un tiempo de retención de 1,5 a 2,5 horas para el caudal medio de las aguas residuales y el caudal pico o máximo.

En las zonas de baja temperatura se puede retardar un poco el proceso de sedimentación. Para el diseño la temperatura no influye en el proceso final de retención de las aguas residuales ya que la temperatura promedio de la Inspección municipal de San Joaquín esta en 26 °C.

Estos tanques por lo general se dimensionan de acuerdo con la carga superficial, expresada en  $M^3/M^2$ . La carga depende del tipo de material que se debe sedimentar.

Tabla 29. Información típica para el diseño de tanques de sedimentación primario.

Parámetro	Intervalo	Valor Típico
Tiempo de retención, en h.	1.5 - 2.5	2.0
Carga superficial, en $m^3/m^2 d$		
- Gasto medio	32 - 48	
- Gasto máximo ext.	80 - 120	100
Carga sobre el vertedor $m^3/m d$	125 - 500	250
<b>Dimensiones, en m</b>		
<b>Rectangular</b>		
Profundidad	3 - 5	3.6
Longitud	15 - 90	25 - 40
Ancho	3 - 24	6 - 10
Velocidad de la rastra	0.6 - 1.2 m/min	1.0
<b>Circular</b>		
Profundidad	3 - 5	4.5
Diámetro	3.6 - 60	12 - 45
Pendiente del fondo	60 - 180 mm/m	80
Velocidad de la rastra	0.02 - 0.05 rpm	0.03

**FUENTE:** *Ingeniería Sanitaria: Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales de Metcalf & Eddy INC.*

### 8.5.1.3 VELOCIDAD DE ARRASTRE

La velocidad de arrastre es importante en la sedimentación ya que las fuerzas actuantes en el material a sedimentar son causadas por la fricción del agua que transcurre sobre las mismas. Las fuerzas horizontales deben mantenerse a niveles bajos para que las partículas no sean arrastradas desde el fondo del tanque.<sup>62</sup>

<sup>62</sup> FUENTES TREMINIO, MELGAR ROSA y PINEDA GÓMEZ. Op. cit., p. 102.

La velocidad crítica dada por la siguiente ecuación desarrollada por Camp, a partir de estudios realizados por Shields (1936):

$$VH = \sqrt{\frac{8k (s - 1)gd}{f}}$$

Dónde:

VH = velocidad horizontal mínima a la cual se inicia el arrastre de partículas

k = constante que depende del tipo de material arrastrado

s = peso específico de las partículas

g = gravedad

d = diámetro de las partículas

f = factor de fricción de Darcy – Weisbach.

Los valores de k más comunes son:

Para arena unigranular = 0,04

Para material + agregados = 0,06

Este valor depende de las características de la superficie donde actúa el flujo y del número de Reynolds donde sus valores están entre 0,02 y 0,03. Tanto k como f son valores adimensionales.

## 8.6 DIMENSIONES DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO

### 8.6.1 ÁREA SUPERFICIAL

Se diseñará un tanque sedimentador de forma circular.

$Q_{\text{diseño}} = 15,09 \text{ L/s}$

**Conversión de unidades:**

$$15,09 \frac{\text{L}}{\text{s}} * \frac{0,001 \text{ m}^3}{1 \text{ L}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 1303,78 \text{ m}^3/\text{día}$$

Se propone un valor de carga de superficie de  $35 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$  (Tabla 29) para hallar el área así:

$$A = Q / CS \quad \textbf{Ecuación 8.18}$$

Donde CS = Carga Superficial

$$A = (1303,78 \text{ m}^3/\text{día}) / (35 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día})$$

$$A = 37,25 \text{ m}^2$$

Se propone una relación - largo/ancho de 4:1, se calcula el largo y ancho del tanque de la siguiente manera:

$$4A^2 = L \quad \textbf{Ecuación 8.19}$$

$$4 A^2 = 37,25 \text{ m}^2$$

$$A = \sqrt{(37,25/4)}$$

$$A = 3.05 \text{ m}$$

$$\text{Largo} = 37,25 / 3,05$$

$$\text{Largo} = 12,21 \text{ m} \approx 12,5\text{m}$$

Para evitar los elementos estructurales como vigas y columnas, las dimensiones serán:

$$\text{Largo} = 12.5 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 3 \text{ m}$$

### 8.6.2 CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL TANQUE SEDIMENTADOR

Se propone una profundidad del tanque de 3 m, por lo tanto, el volumen será:

$$\text{Volumen} = 3 \text{ m} * 3 \text{ m} * 12.5 \text{ m} = 112.5 \text{ m}^3 \quad \textbf{Ecuación 8.20}$$

La nueva carga superficial será:

$$CS = Q/A$$

$$CS = (1303,78 \text{ m}^3/\text{día}) / (3\text{m} \cdot 12,5\text{m})$$

$$CS = 34,77 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$$

### 8.6.3 CÁLCULO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN

$$Tr = Vol / Q \quad \text{Ecuación 8.21}$$

$$Tr = 112,5 \text{ m}^3 / 1303,78 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Tr = 0,0862 \text{ día} \cdot 24 \text{ h} / 1 \text{ día}$$

$$Tr = 2,07 \text{ h.}$$

### 8.6.4 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE ARRASTRE

La velocidad de arrastre se calcula con la siguiente ecuación:

$$VH = \sqrt{\frac{8k(s-1)gd}{f}} \quad \text{Ecuación 8.22}$$

Dónde:

k = Constante de cohesión = 0,05

s = gravedad específica = 1,25

g = aceleración de la gravedad = 9,81 m/s<sup>2</sup>

d = diámetro de partículas = 100 μm

f = factor de fricción de Darcy – Weisbach = 0,025

$$VH = \sqrt{\frac{8 \cdot 0,05 \cdot (1,25 - 1) \cdot (9,81 \cdot 100 \cdot 10^{-6})}{0,025}}$$

$$VH = 0,0626 \text{ m/s}$$

La velocidad de arrastre anterior se compara con la velocidad horizontal de la siguiente manera:

$$VH = Q / A$$

$$VH = (1303,78 \text{ m}^3/\text{día}) / (3\text{m} \times 3\text{m})$$

$$VH = 144,86 \text{ m/día}$$

$$144,86 \frac{\text{m}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 0,00168 \text{ m}^3/\text{día}$$

La velocidad horizontal es mucho menor que la velocidad de arrastre, por lo tanto, el material sedimentado no volverá a suspenderse.

### 8.6.5 CÁLCULO DE LA REMOCIÓN DE DBO Y SST

t = valor típico = 2,014

Los valores de a y b para DBO y SST, se encuentran en la tabla 20.

$$\text{Remoción DBO} = \frac{t}{a+bt} = \frac{2,10}{(0,018+(0,02*2,10))} = 35\% \text{ Ecuación 8.23}$$

$$\text{Remoción SST} = \frac{t}{a+bt} = \frac{2,10}{(0,0075+(0,014*2,10))} = 56,91\% \text{ Ecuación 8.24}$$

### 8.7 DIMENSIONES DE LOS FILTROS PERCOLADORES

Los filtros percoladores han sido utilizados para el tratamiento biológico del agua durante casi 100 años. Los filtros percoladores modernos están formados por un lecho de medio filtrante sobre el que se distribuye continuamente el agua residual.

### CLASIFICACION DE LOS FILTROS

Los filtros percoladores se clasifican por las cargas orgánicas o hidráulicas aplicadas. Las categorías en las que se dividen son de carga baja o normal, de carga media, de alta o muy alta carga, y de desbaste. A menudo, se emplean sistemas de filtros de dos etapas en los que se conectan en serie dos filtros



percoladores. El intervalo habitual de cargas y las características operacionales de los diferentes tipos de filtros.

Tabla 30. Información típica de diseño para filtros percoladores

Elemento	Baja carga	Carga intermedia	Carga alta	Muy alta carga	De fondo	Doble etapa
Medio filtrante <sup>b</sup>	Piedra, escoria	Piedra, escoria	Piedra	Piedra	Plástico, madera	Roca, plástico
Carga hidráulica m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -día	1,20-3,30	3,30-9,40	9,40-27,35	11,70-70,40	47,0-180,0	9,40-27,35
Carga orgánica, kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> -d	0,08-0,40	0,25-0,50	0,50-0,95	0,48-1,80	1,6-6,0	0,55-1,80
Profundidad, m	1,80-2,40	1,80-2,40	0,90-1,80			
Relación de recirculación	0	0-1	1-2	1-2	1-4	0,5-2
Moscas en el filtro	Abundantes	Algunas	Escasas	Escasas o ninguna	Escasas o ninguna	Escasas o ninguna
Atrás de sólidos	Intermitente	Intermitente	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo
Eficiencia de afirmación de la DBO, %	5-90	30-70	65-85	65-90	40-65	65-95
Fuente	Bien aerificado	Parcialmente aerificado	Escasamente aerificado	Escasamente aerificado	No aerificado	Bien aerificado

\* Adaptado parcialmente de la bibliografía [36, 67]  
 \*\* Consultar la Tabla 10-17 para información acerca de las características físicas de varios medios filtrantes

**FUENTE:** Ingeniería de aguas residuales de Metcalf & Eddy INC.

Los datos básicos para el dimensionamiento de los filtros son:

Medio filtrante = Piedra del río

Área específica  $A_v$  40 – 80 m<sup>2</sup> m<sup>-3</sup>

Peso específico  $\rho$  (2 -3). 103 kg m<sup>-3</sup>

Espacio vacío 50% del volumen

- DBO = (Tabla 1) = 238 mg/L + 255 mg/L = 493 mg/L
- 493 mg/L – 35% = 320.45 mg/L
- Calidad deseada = 63 mg/L/s
- Recirculación  $1 = f = 1,65$
- $Q_{\text{diseño}} = 1303,78 \text{ m}^3/\text{día}$

## CALCULO DEL FILTRO PERCOLADOR

Constante de tratabilidad doméstica: 8,50 L/m<sup>2</sup>

Qm aguas residuales: 4.015 L/s ≈ 0,00402 m<sup>3</sup>/s

DB8 = 493 Mg/L

DBO al afluente = 20 mg/L

1. Determinar la superficie necesaria para un filtro de 3 mts de altura durante la temporada de conservación.

Se = 493 mg/L

$$A = Q = \frac{-\text{Ln} \frac{S_e}{S_i}}{\frac{K_t}{D^{30}} * D}$$

Si = 20 mg /L

n = 0,5

$K_{20/30} = 0,275(1,03^{26-25}) = 0,283$

D =3 mts

Q = 4.015 L/s

$$= (4.015) * \left( \frac{-\text{Ln} \left( \frac{20}{493} \right)}{0,283 * 3} \right)^2 = 57,21 \text{ m}^2$$

## 2. COMPROBACIÓN CARGA HIDRÁULICA

$$HLR = \frac{4.015 \frac{l}{s} * 3600 \frac{s}{h} * \frac{1}{1000} \frac{m^3}{l}}{57,21 \text{ m}^2}$$

$$HLR = \frac{14,45}{57,21} = 0,25 \frac{m^3}{m^2} * h$$

### 3. COMPROBAR LAS CARGAS ORGÁNICAS

$$= \frac{0,00402 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 493 \frac{\text{mg}}{\text{l}} * 1000 * \frac{1}{10^6}}{3 \text{ m} * 55,17} = 1,16 * 10^{-5}$$

$$= 19 * 1,16 = 2,204 * 10^{-3} \text{ cm/pr}$$

1 revolución cada 2,84 minutos

### 4. DETERMINAR VELOCIDAD DE GIRO DEL DISTRIBUIDOR GIRATORIO UTILIZADO

$$DR = \frac{166 (Qt)}{A * n}$$

$$DR = \frac{166 (0,25)}{2 * 73} = 0,00284 \text{ rpm}$$

Ahora, se estima el volumen de fango resultante:

Humedad: 92,5

Peso específico del fango: 1,025 Kg

Q: 15,09 L/s

Ss : 174 + 223 = 397 Mg/L

% 56,91= solidos suspendidos que se eliminan en la sedimentación.

Peso de solidos eliminada:

$$Ps = 0,5691 \left( 397 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) * 15,09 \frac{\text{L}}{\text{s}} = 3409,33 \text{ mg} = 0,003409 \text{ Kg}$$

El fango se produce en gran volumen en la mayoría de las operaciones alcanzando a menudo un 0,5% del volumen del agua residual tratada.

Volumen del fango:

$$Vf = \frac{0,003368 \text{ Kg}}{1,025 \frac{\text{Kg}^3}{\text{dm}} * 0,05 * 10^3 \text{ dm}^3/\text{m}^3} = 6.651 \times 10^{-5} \text{ Kg}$$

### Promedio Carga de DBO

$$DBO = \frac{(Q_1 * DBO_1) + (Q_2 * DBO_2)}{Q_1 + Q_2}$$

$$DBO = \frac{\left(14,26 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 238 \text{ mg/L}\right) + \left(0,83 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 255 \text{ mg/L}\right)}{15,09 \text{ L/s}} = 1303,78 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

- **CÁLCULO FILTRO PERCOLADOR – MODELO NRC**

DBO = 238,94 mg/L

Q = 0,01509 m<sup>3</sup>/s \* 86400 s/día = **1303,78 m<sup>3</sup>/día**

Profundidad = 2,5 mts

DBO del efluente = 20 mg/L

Recirculación = 200 %

- Eficiencia requerida :

$$E_1 = \frac{DBO - DBO_{Efluente}}{DBO}$$

$$E_1 = \frac{238,94 - 20}{238,94} = 0,92$$

- Carga orgánica afluente al filtro :

$$W_1 = 238,94 * 10^{-3} * 1303,78 = 311,53 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

Se calcula el factor de recirculación del filtro o número de pozos del material orgánico.

$$F_1 = \frac{1 + R_1}{(1 + 0,1 * R_1)^2}$$

Dónde:

$F_1$ : Factor de recirculación

$R_1$ : Relación de circulación para el filtro

$$F_1 = \frac{1 + 2}{(1 + (0,1 * 2))^2} = 2,08$$

- Se calcula el volumen del filtro :

$$V_1 = \frac{W_1}{F_1} \left[ \frac{0,443 * E_1}{1 - E_1} \right]$$

$$V_1 = \frac{311,53}{2,08} \left[ \frac{0,443 * 0,92}{1 - 0,92} \right] = 3887 \text{ m}^3$$

- Área superficial del filtro :

$$A = \frac{3887}{2,5} = 1554,8 \text{ m}^2$$

- Diámetro del filtro :

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 1554,8}{\pi}} = 44,5 \text{ m}$$

- Las cargas hidráulicas son :

$$CH_s = \frac{3 * 1303,78 \text{ m}^3 / \text{día}}{1554,8 \text{ m}^2} = 2,52 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}}$$

$$CH_v = \frac{3 * 1303,78 \text{ m}^3 / \text{día}}{3887 \text{ m}^3} = 1,01 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 * \text{día}}$$

- Las cargas orgánicas son :

$$CO_s = \frac{238,94 \text{ mg/L} * 1303,78 \text{ m}^3 / \text{día}}{1554,8 \text{ m}^2} = 200 \frac{\text{gr} * \text{DBO}}{\text{m}^2 * \text{día}}$$

$$CO_V = \frac{238,94 \text{ mg/L} * 1303,78 \text{ m}^3/\text{día}}{1554,8 \text{ m}^3} = 80,15 \frac{\text{gr} * \text{DBO}}{\text{m}^3 * \text{día}}$$

- **CÁLCULO FILTRO PERCOLADOR – MODELO BRUCE Y MERKENS**

Remoción: 35%

DBO: 238,94 mg/L

Q: 1303,94 m<sup>3</sup>/día

Temperatura: 26 °C

Medio de soporte: Piedra de río pequeña

Tamaño nominal: 4,5 cm

- Constante de tratabilidad:

$$K_T = 0,037 (1,08)^{T-15}$$

$$K_T = 0,037 (1,08)^{26-15} = 0,09 \text{ m/d}$$

- Cálculo del volumen del medio filtrante

$$V = \frac{Q * \text{Ln} (S_a/S_e)}{K_T * S}$$

Dónde:

V: Volumen del filtro en m<sup>3</sup>

S<sub>a</sub>: DBO del afluente del filtro

$S_e$ : DBO del efluente sedimentado del filtro

S: Área superficial

$$V = \frac{1303,78 \text{ m}^3 * \text{Ln} \left( \frac{238,94 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{0,2 * 238,94 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \right)}{0,09 \frac{\text{m}}{\text{d}} * 70 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}} = 333 \text{ m}^3$$

Se diseña un tanque de 7m \* 7m en planta y 7m de altura

Volumen del filtro: 343 m<sup>3</sup>

Entonces:

Las cargas hidráulicas son:

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

$$CH_V = \frac{1303,78 \text{ m}^3/\text{día}}{343 \text{ m}^3} = 3,80 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 * \text{día}}$$

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

$$CH_S = \frac{1303,78 \text{ m}^3/\text{día}}{49 \text{ m}^2} = 26,6 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}}$$

- Cargas orgánicas

$$CO = 238,94 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \left( 1303,78 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 10^{-3} \right)$$

$$CO = 311,53 \frac{Kg * DBO}{día}$$

$$CO_V = \frac{311,53 \frac{Kg * DBO}{día}}{343 m^3} = 0,90 \frac{Kg * DBO}{m^3 * día}$$

$$CO_S = \frac{311,53 \frac{Kg * DBO}{día}}{49 m^2} = 6,36 \frac{Kg * DBO}{m^2 * día}$$

## DETERMINACIÓN DEL PESO SOLIDO SEPARADO

- Adición productos químicos para aumentar la eliminación hasta un 70%

$$A = 0,70 * (397 \text{ mg/L}) * (15,09 \text{ L/s})$$

$$A = 4193,51 \text{ mg}$$

$$A = 4,19 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

## VOLUMEN FANGO

$$V = \frac{4,19 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{1,025 \text{ Kg/dm}^3 * 1000 \frac{\text{dm}^3}{\text{m}} * 0,075} = 77,80 \text{ Kg}$$

Figura 28. Diagrama de flujo típicos simplificados para los procesos biológicos utilizados en el tratamiento de aguas residuales



FUENTE: Ingeniería de aguas residuales de Metcalf & Eddy INC.



## 8.8 TRATAMIENTO DE LODOS

Los lodos constituyen un subproducto importante de las plantas de tratamiento de aguas residuales ya que éste sin duda es el de mayor volumen y el de mayor complejidad en su tratamiento.

El lodo o fango proveniente de la sedimentación primaria es relativamente diluido con una concentración característica del lodo del 5%, que desprende olor desagradable y puede ser digerido en condiciones adecuadas.<sup>63</sup>

### 8.8.1 DIGESTOR DE LODOS

La digestión de lodos se aplica con el propósito de producir un compuesto final más estable y eliminar cualquier microorganismo patógeno presente en el lodo crudo.<sup>64</sup>

Tabla 31. Producción de lodos en litros por persona por día

	Lodos nuevos (lts/p/día)	Lodos digeridos (lts/p/día)	Lodos secos (lts/p/día)
Sedimentación primaria	1.09	0.30	0.10
Filtros biológicos	1.50	0.50	0.15
Lodos activados	1.80	0.80	0.20

FUENTE: Ingeniería de aguas residuales de Metcalf & Eddy INC.

#### 8.8.1.1 DIMENSIONAMIENTO

Los datos básicos son:

Población de diseño: 3052 habitantes (Año 2041. TABLA 12)

Producción de lodos nuevos = 1,09 L/p/día (TABLA 31)

<sup>63</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Cantidad y características de lodos [en línea]. <  
[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccin\\_31\\_cantidad\\_y\\_caractersticas\\_de\\_lodos.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccin_31_cantidad_y_caractersticas_de_lodos.html)  
> [citado en 21 de octubre de 2016]

<sup>64</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios. Bogotá, Colombia. 2005. P. 767.

Periodo de retención = 29.21 días (TABLA 32)

Se propone un tiempo de retención de 24 días ya que la temperatura media es de 26 °C.

*Tabla 32. Digestión discontinua de los lodos sedimentación libre a diferentes temperaturas*

Temperatura °F	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Temperatura °C	10.0	15.6	21.1	26.7	32.2	37.8	43	49	54	60
Periodo de digestión en días	75	56	42	30	25	24	26	16	14	18
Tipo de digestión	Mesofilica						Termofilica			

**FUENTE:** *Ingeniería sanitaria y de aguas residuales de Fair, Geyer y Okun.*

### 8.8.2 CÁLCULO DEL VOLUMEN NECESARIO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL TANQUE DIGESTOR

$V_{nr} = \# \text{ de habitantes} * PL_n * Tr$  **Ecuación 8.35**

Donde:

PLN = Producción de lodos nuevos

Tr = Tiempo de retención

$$\frac{26^\circ * 30 \text{ días}}{26.7^\circ} = 29.21 \text{ días}$$

Entonces,

$$V_{nr} = (3052) * (1.09) * (29.21)$$

$$V_{nr} = 97172.32 \text{ L} = 97.17 \text{ m}^3$$

#### 8.8.2.1 CÁLCULO DEL DIÁMETRO PARA EL TANQUE DIGESTOR

Se optará una profundidad total  $h = 4$  m.

Una parte cilíndrica con una altura de 2 m.

Un diámetro de 8 m.

Una parte cónica de 2 m.

Entonces,

$V_t = \text{Vol. Del cilindro} + \text{Vol. Del cono}$  **Ecuación 8.36**

$$V_t = \frac{\pi * d^2 * h_{\text{cilindro}}}{4} + \frac{\pi * d^2 * h_{\text{cono}}}{12}$$

$$V_t = \frac{\pi * 8^2 * 2}{4} + \frac{\pi * 8^2 * 2}{12}$$

$$V_t = 100,53 + 33,51 = 134,04 \text{ m}^3$$

Para el diseño se propone una escalera, con el propósito de hacer limpieza manual de partículas de baja densidad y de grasas.

### 8.8.3 PATIO DE SECADO DE LODOS

El secado de lodos corresponde a un proceso natural donde el agua contenida entre las partículas de lodos, es removida por evaporación y filtración a través del medio de drenaje de fondo. En este sistema no es necesario adicionar reactivos ni elementos mecánicos ya que está previsto un secado lento.<sup>65</sup>

Los lechos de este diseño serán de 15 cm a 30 cm de arena que descansarán sobre una grava de diámetros de 3 a 6 mm en la parte superior y de 18 a 35 mm en la parte inferior con un espesor total de 30 cm de grava.

Las paredes serán en ladrillo con una elevación de 35 cm por encima de la superficie de arena y el fondo tendrá una ligera pendiente para su debido drenaje. El lodo seco final es inofensivo y puede usarse como fertilizante o relleno.

### DIMENSIONAMIENTO

Población = 3052 habitantes para un periodo de diseño de 25 años.

---

<sup>65</sup> OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL LECHO DE SECADO [en línea]. < <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan/029505/029505-10.pdf> > [citado en 21 de octubre de 2016]

Producción de lodos secos = 0,10 L/p/día (TABLA 31)

$$0,10 * 3052 = 305,2 \text{ L/día}$$

Periodo de retención = 29,21 días

Distribución de capas = 0,20 m

### **CÁLCULO DEL VOLUMEN NECESARIO (Vn)**

$$Vn = N^{\circ} \text{ de habitantes} * PLs * Tr \quad \textbf{Ecuación 8.37}$$

Donde,

PLs = producción de lodos secos

Tr = tiempo de retención

$$Vn = 3052 \text{ L/d} * 29,21 \text{ día}$$

$$Vn = 8914,89 \text{ L} = 8,92 \text{ m}^3$$

### **CÁLCULO DEL ÁREA SUPERFICIAL NECESARIA**

$$An = Vn / ECL \quad \textbf{Ecuación 8.38}$$

Donde,

Vn = Volumen necesario

ECL = espesor de capas de lodo

$$An = 8,92 \text{ m}^3 / 0,20 \text{ m}$$

$$An = 44,6 \text{ m}^2$$

Se proponen dos áreas de secado. Entonces:

$$An = 44,6 \text{ m}^2 / 2$$

$$A_n = 22,3 \text{ m}^2 \text{ cada patio}$$

Se construirán 2 patios de secado rectangulares con las siguientes dimensiones:

$$A = \text{ancho} * \text{largo}$$

Se asume un ancho  $W = 4 \text{ m}$

$$L = A / W$$

Sustituyendo los valores para encontrar L. Entonces:

$$L = 22,3\text{m}^2 / 4 \text{ m}$$

$$L = 5,57 \text{ m} \approx 6 \text{ m}$$

Por lo tanto, las dimensiones serán:

$$\text{Ancho (W)} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Largo (L)} = 6 \text{ m}$$

## 9. CONCLUSIONES

- Con base a los planos obtenidos tanto del acueducto como del alcantarillado de la Inspección Municipal de San Joaquín, se concluye que se debe tener un mejor manejo de las aguas residuales ya que están siendo vertidas al Rio Apulo contaminando así la fuente hídrica de abastecimiento de los municipios rio debajo de San Joaquín.
- Al determinar el servicio de alcantarillado por medio de encuestas realizadas a la zona estudio, se puede concluir lo siguiente: 1) la falta de información de la comunidad Sanjoaquinuna, ya que es poco el conocimiento sobre el manejo de las aguas residuales. Saben que sus casas cuentan con servicio de alcantarillado, pero no conocen el destino final de sus aguas residuales. 2) se encontró que, al realizar la encuesta, un total de 7 casas no tienen conexión al alcantarillado, por lo tanto, sus aguas residuales son vertidas al rio directamente afectando aún más su tratamiento.
- Se concluye que, al cuantificar el caudal mínimo por medio de los métodos de proyección aritmética, geométrico y exponencial, se obtiene una idea clara del caudal de salida para un periodo de diseño de 25 años, lo cual supone que para el año 2041 se manejarían caudales por encima o por debajo del resultado dado.
- Debido a que el primer vertimiento contiene tanto aguas residuales como aguas lluvias, se propone un solo sistema para unificar el alcantarillado existente ya que en la zona existen varios sistemas de vertimientos.
- Al realizarse el proyecto propuesto, se alcanzará un gran beneficio para el ecosistema y un aporte valioso para el desarrollo de la población por la importancia que tiene la depuración de las aguas residuales domésticas.

## 10. RECOMENDACIONES

- Se debe concientizar a la comunidad Sanjoaquinuna de no arrojar desperdicios como plásticos, comida descompuesta, cáscaras, escombros, entre otros, ya que esto dificulta tanto el tratamiento de aguas residuales como de agua potable.
- Educar a la comunidad, para lo cual se deben de reforzar los actuales esquemas educativos para el correcto uso y manejo de las aguas residuales.
- El incremento en la demanda de agua potable para el consumo, ha provocado conflictos por escasez del recurso. Las aguas residuales, pueden constituir una fuente de abastecimiento segura y confiable para este uso y otros que no requieran calidad de agua potable.
- En el caso de que haya un crecimiento en la población, no habría problema, ya que el sistema de tratamiento de esta tesis está previsto para 15 años, ósea que después de ese tiempo habría que pensar que hacer si es que la población llegue a crecer en gran proporción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUAMARKET. Compuesto tóxico inorgánico. [en línea]. < <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?ld=3652> > [citado en 20 de marzo de 2016]

ALCALDIA DE LA MESA CUNDINAMARCA. Nuestro Municipio. Información general. [En línea]. < [http://www.lamesa-cundinamarca.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.lamesa-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml) > [citado en 20 de septiembre de 2016]

ALCALDIA DE LA MESA CUNDINAMARCA. Plan de Desarrollo Departamental “Cundinamarca Calidad de Vida” [en línea]. < [http://www.cundinamarca.gov.co/wps/wcm/connect/730b8137-9236-495e-80fd-36b4500d21ff/plan\\_departamental\\_de\\_desarrollo\\_2012-2016-aprobado.pdf?MOD=AJPERES](http://www.cundinamarca.gov.co/wps/wcm/connect/730b8137-9236-495e-80fd-36b4500d21ff/plan_departamental_de_desarrollo_2012-2016-aprobado.pdf?MOD=AJPERES) > [citado en 10 de febrero de 2016]

BIOTECNOLOGÍA PRÁCTICA Y APLICADA. Como funciona una planta de lodos activos [en línea]. < <https://bioreactorcrc.wordpress.com/2008/04/30/como-funciona-una-planta-de-lodos-activados/> > [citado en 20 de abril de 2016]

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 9. (24, enero, 1979). Por la cual se dictan Medidas Sanitarias. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1979. No. 35193. 373 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 1594 (26, junio, 1984). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI –Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III –Libro I- del decreto – Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1984. No. 36700. P 1-55

COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Resolución No. 1096. (17, noviembre, 2000). Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Bogotá, D.C., 2000. P 1-106

COLOMBIA. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto 2811 (18, diciembre, 1974). Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1974. No. 34243. p 1-32

COMISIÓN NACIONAL DE AGUA. Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón. [en línea]. < <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/SGAPDS-3-13.pdf> > [citado en 20 de abril de 2016]



CONSEJO NACIONAL DE POLITICA ECONÓMICA Y SOCIAL. Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales. Conpes 3177. Bogotá. 2002. 27 p.

CRITES, Ron; TCHOBANOGLIOUS, George. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Traducido por Miller Camargo, Libia Patricia Pardo y Guillermo Mejía. 1 ed. Bogotá D.C.: McGraw-Hill, 2000. 776 p. ISBN 958-41-0042-4

DE AZEVEDO NETTO, José Martiniano; ACOSTA ÁLVAREZ, Guillermo. Manual de Hidráulica. 6 ed. México D.F. Harla, 1975. 578 p.

DR. CALDERON LABS. Demanda bioquímica de oxígeno. [en línea]. < [http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\\_De\\_Aguas/Determinacion\\_de\\_DBO5.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_DBO5.htm) > [citado en 20 de marzo de 2016]

EMPRESA DE ACUEDUCTO DE BOGOTÁ. Tratamiento de aguas y lodos PTAR Salitre. [En línea]. < <https://goo.gl/Pek9IE> > [citado en 20 de abril de 2016]

EMPRESAS PÚBLICAS DE CUNDINAMARCA SA ESP. Detalle del Proceso Número CM-PDA-025-2014 "Prorroga 1 PDA-C-263-2014" [en línea]. < <https://www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do?numConstancia=14-15-2738593> > [citado en 10 de febrero de 2016]

ESCUELA DE INGENIERIA DE ANTIOQUIA. Artículos [en línea]. < <http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/desarenadores/desarenadores.html> > [citado en 20 de octubre de 2016]

ESPINOZA PAZ, Ramón Enrique. Planta de tratamiento de aguas residuales en San Juan de Miraflores. Tesis de Master en Gestión y Auditorías Ambientales. Piura, Perú: Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. 2010

FÉLEZ SANTAFÉ, Marta. Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos. Barcelona, España. 2009. P. 14

FUENTES TREMINIO, Rene Eduardo; MELGAR ROSA, Esther Elizabeth y PINEDA GÓMEZ, Ludwin Adanil. Propuesta de diseño de planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Jocoro, departamento de Morazán. Trabajo de grado Ingeniero Civil. San Miguel, El Salvador: Universidad de Oriente. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Departamento de Ingeniería Civil. 2011.

GARCIA MONTES, Jesús. Estado Actual Del Manejo De Efluentes En Colombia. En: Palmas. 1993. Volumen 14. P. 141-148.

GONZÁLEZ MANOSALVA, José Luis; MEJÍA RUIZ, Roberto y MOLINA PÉREZ, Francisco. Diseño conceptual de una estación experimental de tratamiento de aguas residuales domésticas orientada a municipios con población menor a 30.000 habitantes. En: PDF. Julio-diciembre de 2012, vol. 11, no. 21, pp. 87-100.

IDEAM. Demanda química de oxígeno. [En línea]. <  
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+d e+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb> > [citado en 20 de marzo de 2016]

INGENIERO AMBIENTAL. Laguna de estabilización [en línea]. <  
<http://www.ingenieroambiental.com/?pagina=838> > [citado en 20 de abril de 2016]

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACIÓN. Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Directrices para el diseño de programas de muestreo. NTC-ISO 5667-10- Bogotá D.C.: El instituto, 1995. 17 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACIÓN. Gestión ambiental: guía para la realización de ensayos de toxicidad (bioensayos) en organismos acuáticos. GTC 31. Bogotá D.C.: El instituto, 1996. 5 p.

KJAER, Ricardo. Canales de oxidación. En: Congreso de Centroamérica y Panamá de Ingeniería Sanitaria y Ambiental “Superación Sanitaria y Ambiental: El Reto” (22: 22-24, agosto, 2001). Memorias. Tegucigalpa, República de Honduras. P. 1-5.

METCALF & EDDY, INC. Ingeniería Sanitaria: Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Revisado por George Tchobanoglous. Traducido por Juan de Dios Trillo Montsoriu, Nilo Lletjós Masó y Eloísa Estruch Soto. 2 ed. Barcelona, España.: Editorial Labor. S.A., 1985. 969 p. ISBN 84-335-6421-8

METCALF & EDDY, INC. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Revisado por George Tchobanoglous. Traducido por Juan de Dios Trillo Montsoriu. 2 ed. Madrid, España.: Editorial Mcgraw-Hill., 1995. 1485 p. ISBN 84-481-1612-7

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Norma de vertimientos resolución 0631 de 2015. [en línea]. <  
[http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res\\_631\\_marz\\_2015.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf) > [citado en 20 de mayo de 2016]

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL LECHO DE SECADO [en línea]. < <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan/029505/029505-10.pdf> > [citado en 21 de octubre de 2016]

PORCICULTURA. Evaluación del contenido de grasas y aceites en descargas de agua residual. [En línea]. < [http://www.porcicultura.com/porcicultura/home/productos-interior.asp?cve\\_prod=2-1053-216](http://www.porcicultura.com/porcicultura/home/productos-interior.asp?cve_prod=2-1053-216) > [citado en 20 de marzo de 2016]

PRTR ESPAÑA. Carbono orgánico total. [en línea]. < <http://www.prtr-es.es/Carbono-organico-total-COTComo-C,15663,11,2007.html> > [citado en 20 de marzo de 2016]

REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Tratamiento de aguas residuales. [en línea]. < [http://www.cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7.Tratamiento de aguas residuales.pdf](http://www.cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7.Tratamiento%20de%20aguas%20residuales.pdf) > [citado en 20 de mayo de 2016]

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios. Bogotá, Colombia. 2005. P. 767.

RXL WATER. Tratamiento biológico de aguas residuales y residuos [en línea]. < <https://www.rxlwater.com/tratamiento-biologico-aguas-residuales/?lang=es> > [citado en 20 de abril de 2016]

SILVA GARAVITO, Luis Felipe. Diseño de acueducto y alcantarillados. 10 d. Bogotá D.C. Universidad Javeriana. 1987. 260 p.

TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Tratamientos preliminares [en línea]. < <https://goo.gl/PBimjo> > [citado en 20 de abril de 2016]

TURBIDEZ. Aspectos teóricos. [En línea]. < [www.reitec.es/Pdf/agua05.pdf](http://www.reitec.es/Pdf/agua05.pdf) > [citado en 20 de marzo de 2016]

UNIVERSIDAD DEL VALLE. Filtros Biológicos. Guillermo Valencia Montoya [en línea]. < [www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/05862/05862-09.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/05862/05862-09.pdf) > [citado en 23 de octubre de 2016]

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Canaleta Parshall [en línea]. < [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido en linea Diseño de Plantas Potabilizadoras/leccin 20 canaleta parshall.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Diseño_de_Plantas_Potabilizadoras/leccin_20_canaleta_parshall.html) > [citado en 20 de octubre de 2016]

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Cantidad y características de lodos [en línea]. <

[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccin\\_31\\_cantidad\\_y\\_caracteristicas\\_de\\_lodos.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccin_31_cantidad_y_caracteristicas_de_lodos.html) > [citado en 21 de octubre de 2016]

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Caudales de diseño y canal de entrada. [en línea]. <

[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion\\_6\\_caudales\\_de\\_diseño\\_y\\_canal\\_de\\_entrada.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion_6_caudales_de_diseño_y_canal_de_entrada.html) > [citado en 20 de octubre de 2016]

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Caudales de diseño y canal de entrada. [en línea]. <

[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358003/Residuales\\_Contenido\\_en\\_linea/leccion\\_11\\_pozos\\_de\\_inspeccion.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358003/Residuales_Contenido_en_linea/leccion_11_pozos_de_inspeccion.html) > [citado en 20 de octubre de 2016]

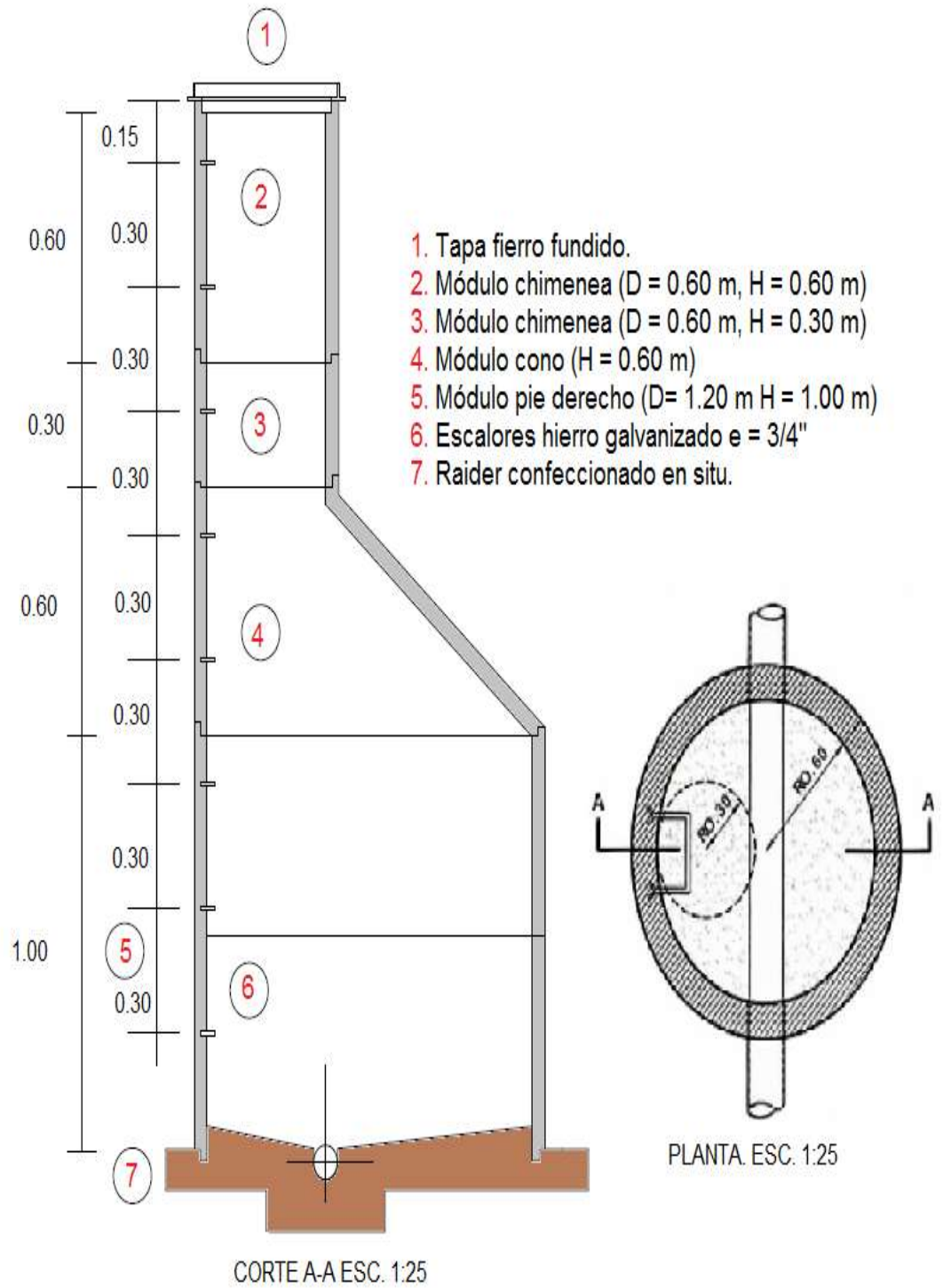
UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Sedimentadores [en línea]. <

[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccin\\_22\\_sedimentadores.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccin_22_sedimentadores.html) > [citado en 21 de octubre de 2016]

## **ANEXOS**

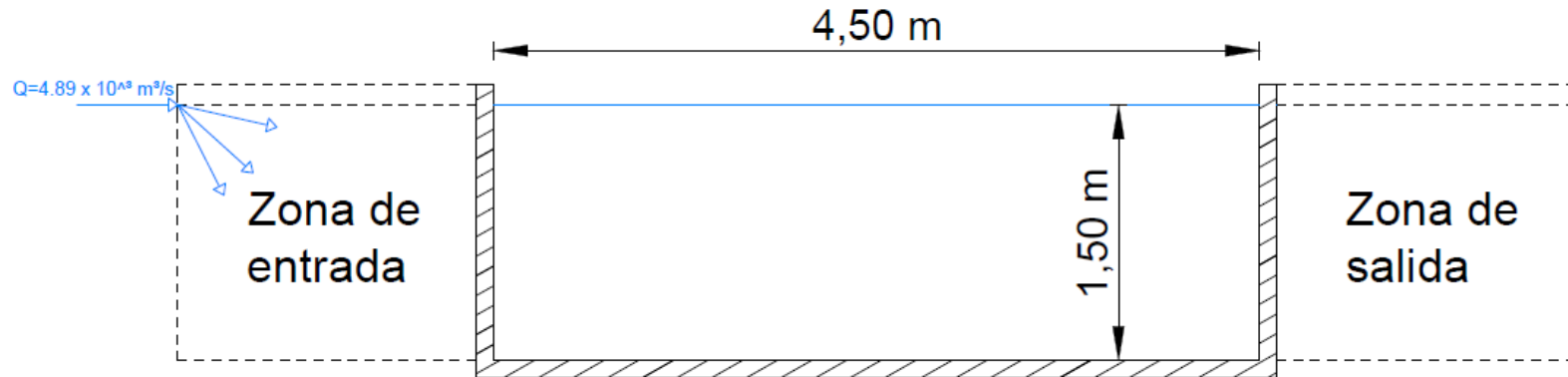
*Anexo A. Plano Inspección Municipal del San Joaquín*

*Anexo B. Plano Pozo de Inspección prefabricado*

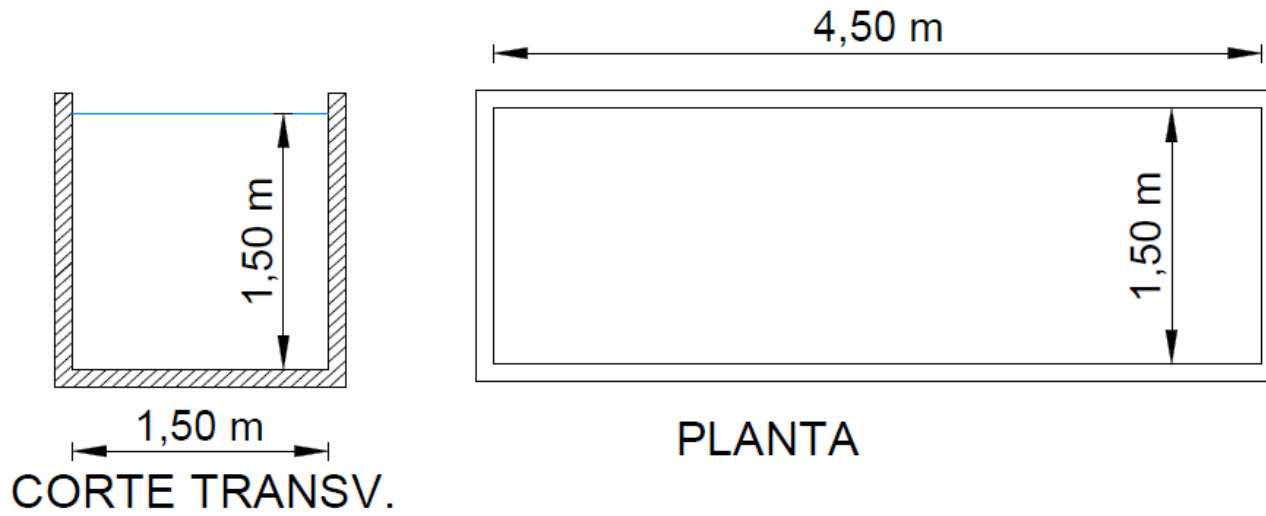




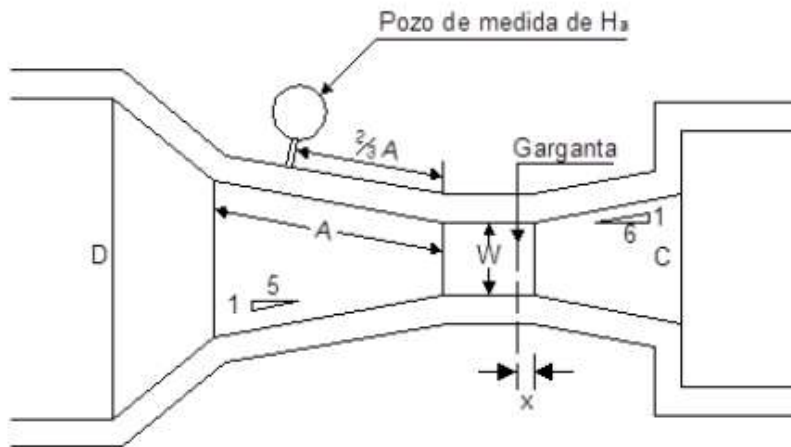
Anexo C. Plano Desarenador



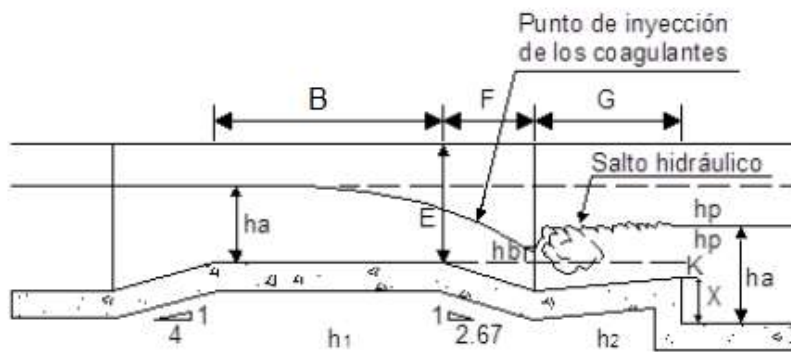
CORTE LONGITUDINAL



Anexo D. Plano Canaleta Parshall



- W = 7.6 cm
- A = 46.6 cm
- B = 45.7 cm
- C = 17.8 cm
- D = 25.9 cm
- E = 38.1 cm
- F = 15.2 cm
- G = 30.5 cm
- K = 2.5 cm
- N = 5.7 cm



*Anexo E. Plano Planta de Tratamiento de aguas residuales*

*Anexo F. Instrumentos de recolección de información*

**ENCUESTA DE INFORMACIÓN DIRIGIDA A LOS USUARIOS DEL ALCANTARILLADO EN LA LOCALIDAD DE SAN JOAQUÍN – LA MESA CUNDINAMARCA**

1. LA SALIDA DE LAS AGUAS NEGRAS ESTÁN CONECTADAS A
  - A- SIS. ALCANTARILLADO \_\_\_\_\_
  - B- POZO SÉPTICO \_\_\_\_\_
  - C- LETRINA \_\_\_\_\_
  - D- DIRECTO AL RIO \_\_\_\_\_
2. CUANTAS PERSONAS RESIDEN EN ESTA CASA
  - A- UNA SOLA \_\_\_\_\_
  - B- DOS O MAS \_\_\_\_\_
  - C- CUANTAS \_\_\_\_\_
3. CUANTAS PERSONAS VISITANTES LLEGAN A ESTA CASA
  - A- UNA \_\_\_\_\_
  - B- MAS DE UNA \_\_\_\_\_
  - C- CUANTAS \_\_\_\_\_
4. CADA CUANTO TIEMPO VIENEN LAS PERSONAS VISITANTES
  - A- CADA 8 DIAS \_\_\_\_\_
  - B- CADA 15 DIAS \_\_\_\_\_
  - C- VACACIONES \_\_\_\_\_
  - D- SOLO EN FIESTAS PATRONALES \_\_\_\_\_
5. TIPO DE VIVIENDA
  - a- CASA QUINTA \_\_\_\_\_
  - b- CASA \_\_\_\_\_
  - c- APARTAMENTO \_\_\_\_\_
  - d- HOTEL \_\_\_\_\_
  - e- TIENDA \_\_\_\_\_
  - f- \_\_\_\_\_
6. CONDICIÓN DE ESTADO DE LA VIVIENDA
  - A- CONSTRUIDA \_\_\_\_\_
  - B- EN OBRA NEGRA \_\_\_\_\_
7. ESTA VIVIENDA ES DE USO
  - A- PERMANENTE \_\_\_\_\_
  - B- OCASIONAL \_\_\_\_\_
8. ESTA VIVIENDA CUENTA CON CONEXIÓN AL ALCANTARILLADO
  - A- SI \_\_\_\_\_
  - B- NO \_\_\_\_\_
  - C- ¿OTRO? CUAL \_\_\_\_\_
9. LA FRECUENCIA EN QUE SE SUMINISTRA EL AGUA A ESTA VIVIENDA
  - A- TODOS LOS DIAS \_\_\_\_\_
  - B- CADA 3 DIAS \_\_\_\_\_
  - C- CADA 8 DIAS \_\_\_\_\_
  - D- CADA 15 DIAS \_\_\_\_\_
  - E- OTRA \_\_\_\_\_