



**DIAGNOSTICO DE LA PTAR DEL MUNICIPIO DE
GRANADA (CUNDINAMARCA)**



**ANDRES FELIPE SOSA GONZALEZ
20122181163**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
INGENIERIA SANITARIA
BOGOTA D.C.
2018**



**INFORME FINAL DE PASANTÍA
REALIZADA EN LA ALCALDIA MUNICIPAL DE
GRANADA CUNDINAMARCA**



Autor: Andrés Felipe Sosa González

DIRECTOR EXTERNO: Ing. YENI NOELIA HUERTAS CHACON
DIRECTOR INTERNO: Ing. Msc. CAUDEX VITELIO PEÑARANDA
OSORIO

El trabajo de grado titulado: “**DIAGNOSTICO DE LA PTAR DEL MUNICIPIO DE GRANADA (CUNDINAMARCA)** presentado por el estudiante Andrés Felipe Sosa González, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar el título de Ingeniero Sanitario, fue aprobado en fecha 01 octubre del presente año por el supervisor externo y el director interno con una calificación de cuatro punto ocho (4.8)

YENI NOELIA HUERTAS CHACON
DIRECTOR EXTERNO

CAUDEX VITELIO PEÑARANDA OSORIO
DIRECTOR INTERNO

INTRODUCCIÓN

Las falencias presentadas en los sistemas de tratamiento de residuos líquidos se generan en un origen por su mal diseño. Para ello se evalúan cada una de las unidades de tratamiento y se determina si es el adecuado o no, de ser el diseño adecuado, lo último por evaluar es la operación, para poder determinar cuáles son las irregularidades que presentan los sistemas de tratamiento.

En las dependencias encargadas de las alcaldías municipales se presentan dudas sobre los procesos de tratamiento, manejo y operación de los residuos generados, al no contar con el personal idóneo que tenga el conocimiento para dar una solución oportuna, se crea la necesidad de buscar los recursos necesarios, por ello se abre un espacio para que estudiantes de últimos semestres en carreras afines tengan la oportunidad de hacer análisis y diagnósticos sobre los problemas presentados en los procesos que llevan, para determinar el correcto manejo de la disposición de los residuos.

Por lo anterior, en el año 2017 el Ministerio del trabajo, abre un espacio para que estudiantes de cualquier carrera opten por realizar sus prácticas profesionales el sector público, mediante un convenio por medio de las cajas de compensación familiar, el programa estado joven da inicio, en la convocaría del segundo semestre del año 2017. Bajo este espacio se da la oportunidad para iniciar el proyecto de grado mediante la modalidad de pasantía en la alcaldía del municipio de Granada Cundinamarca, con el proyecto denominado DIAGNOSTICO DE LA PTAR DEL MUNICIPIO DE GRANADA (CUNDINAMARCA).

En ello se observando las condiciones en las que se encuentran los procesos y el manejo de los residuos líquidos, en la planta de tratamiento de aguas residuales, se propuso determinar un diagnóstico operacional sobre la PTAR para poder determinar falencias en el diseño, tratamiento y operación.

Para el desarrollo del presente documento los temas abarcados se manejaron por capítulos, enunciando los temas de vital importancia para el progreso de este.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	3
1. OBJETIVOS.....	8
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Nivel de complejidad:	9
2.2. Métodos de proyección de la población.....	9
2.3. Periodo de Diseño	10
2.4. Cálculo de la población método aritmético.....	10
2.5. Cálculo de la población método geométrico	11
2.6. Cálculo de la población método exponencial.....	11
2.7. Coeficiente de retorno	12
2.8. Consumo Básico.....	12
2.9. Cálculo de caudal agua residual domesticas	13
2.10. Caudal de agua residual industrial (QI).....	13
2.11. Caudal de agua residual comercial (Qc).....	14
2.12. Caudal de agua residual institucional (Qinst).....	14
2.13. Cálculo del Caudal medio Diario (QMD)	15
2.14. Caudal máximo horario (QMH)	15
2.15. Factor de Mayoración.....	15
2.16. Factor de Mayoración Flores.....	16
2.18. Caudal de conexiones erradas.....	16
2.19. Sistema de cribado.....	17
2.20. Canaleta Parshall	20
2.21. Desarenador	25
2.22. UASB.....	29
2.23. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).....	30
3. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	32
3.1. Población.....	32
3.2. Red hídrica Municipal.....	33
3.3. Planta de tratamiento de aguas residuales de Granada (Cundinamarca).....	34
3.4. Proyección de la población	37
4. CÁLCULOS DEL DIAGNOSTICO DEL SISTEMA.....	41

4.1.	Caudales Sanitarios	41
4.2.	Sistema de cribado o desbaste (Rejillas)	45
43.	Canaleta Parshall.....	50
4.3.1.	Análisis y Discusión	54
4.4.1.	Análisis y discusión.....	59
4.5.	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB)	60
4.5.1.	Análisis y discusión:.....	62
4.6.	Filtro Anaerobio de Flujo ascendente (FAFA)	63
4.7.	Manejo de lodos y lechos de secado	64
5.	Conclusiones y Recomendaciones	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Asignación del nivel de complejidad del sistema	9
Tabla 2-2 Métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad del sistema para la proyección de la población	9
<i>Tabla 2-3 Coeficiente de Retorno aguas residuales domesticas</i>	12
Tabla 2-4 Consumo de agua potable básico	13
Tabla 2-5 Contribución de aguas residuales industriales para industrias pequeñas	14
Tabla 2-6 Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales	16
Tabla 2-7 Caudal de aportes Canaleta Parshall	20
Tabla 2-8 Dimensiones estándar de la Canaleta Parshall	21
Tabla 2-9 Dimensiones de valores de K y m para Canaleta Parshall	22
Tabla 3-1 Población Granada para el año 2005 – 2010.....	33
Tabla 3-2 Extensión de áreas por hectáreas (hc)	35
Tabla 3-3 Datos Sistema de cribado	35
Tabla 3-4 Datos de Canaleta Parshall.....	35
Tabla 3-5 Datos de Desarenador	36
Tabla 3-6 Datos UASB.....	36
Tabla 3-7 Datos del (FAFA).....	37
<i>Tabla 3-8 Proyección de la población</i>	39
Tabla 4-1 Resultados de Cálculos caudales sanitarios	44
Tabla 4-2 Resultados Sistema de Cribado	48
Tabla 4-3 Parámetros mínimos de diseño.....	49
Tabla 4-4 Resultados Canaleta Parshall	54
Tabla 4-5 Resultados Sistema Desarenador	58
Tabla 4-6 Parámetros muimos de Diseño desarenador	59
Tabla 4-7 Resultados UASB Proyectado.....	61

RESUMEN

El presente documento de pasantía se realizó mediante el programa estado joven en convenio con la alcaldía del municipio de Granada (Cundinamarca) desarrollado por el estudiante Andrés Felipe Sosa González, con base al objetivo principal de desarrollar el diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) analizando el manejo de cada una de las unidades, el funcionamiento y operación de esta. En él se describe la memoria de cálculos, resultados y por ultimo las conclusiones y recomendaciones

Palabras Clave: Pasantía, Diagnostico, Unidades, Planta de tratamiento de agua residual.

ABSTRACT

This internship document was made through the young state program in agreement with the mayor of the municipality of Granada (Cundinamarca) developed by the student Andrés Felipe Sosa González, based on the main objective of developing the diagnosis of the wastewater treatment plant (PTAR) analyzing the management of each of the units, the operation and operation of this. It describes the memory of calculations, results and finally the conclusions and recommendations

Keywords: Internship, Diagnosis, Units, Wastewater treatment plant.

1. OBJETIVOS

Seguidamente se presentan los objetivos o metas del trabajo efectuado en la pasantía de la Alcaldía Municipal de Granada Cundinamarca.

1.1. Objetivo General

Realizar diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) del municipio de Granada (Cundinamarca)

1.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar un análisis diagnóstico sobre las unidades de tratamiento de la PTAR del municipio de granada
- Analizar el proceso de tratamiento de las aguas residuales que el municipio de granada adelanta en la PTAR
- Determinar las causales por las cuales existen falencias en los procesos de tratamiento que se realizan en la PTAR

2. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presentan los elementos teóricos necesarios para el desarrollo del estudio para el diagnóstico del manejo de los residuos sólidos y líquidos generados por los habitantes en el municipio de granada, indispensables para abordar el tema

2.1. Nivel de complejidad: Debe definirse el nivel de complejidad del sistema, según se establece en el capítulo 3, artículos 11, 12 y 13 de la Resolución 1096 de 2000, del Ministerio de Desarrollo Económico, o la norma que la modifique o sustituya, sobre “Determinación del Nivel de Complejidad del Sistema”

Tabla 2-1 Asignación del nivel de complejidad del sistema

Nivel de Complejidad	Población en la Cabecera Municipal (Hab.)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	< 2.500	Baja
Medio	2.501 a 12.500	Baja
Medio – Alto	12.501 a 60.000	Media
Alto	> 60.000	Alta

Fuente: RAS 2000, Título D, página 15

Notas: (1) Proyectado al periodo de diseño, incluida la población flotante.

(2) Incluye la capacidad económica de población flotante. Debe ser evaluada según metodología del DNP.

2.2. Métodos de proyección de la población: Una vez determinado que el nivel de complejidad, el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000) determina los siguientes métodos para el cálculo de la población futura, con base al nivel seleccionado:

Tabla 2-2 Métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad del sistema para la proyección de la población

Método por emplear	Nivel de complejidad del sistema			
	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Aritmético, Geométrico y exponencial	X	X		

Aritmético, Geométrico y exponencial y otros			X	X
Por componentes (Demográfico)			X	X
Detallar por zonas y detallar densidades			X	X
Método Gráfico	X	X		

Fuente: RAS 2000, TITULO B, página 27

2.3. Periodo de Diseño: Como parte del desarrollo de los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y/o aguas lluvias, y antes de generar alternativas de solución, es necesario establecer el período de planeamiento teniendo en cuenta que éste comienza desde el año inicial de operación. Para la definición del período de planeamiento o período de diseño se deben tener en cuenta: la capacidad del sistema para atender la demanda futura, la densidad poblacional actual y la de saturación, la durabilidad de los materiales y equipos empleados, la calidad de la construcción, así como también la operación y el mantenimiento de este.

A su vez, el período de planeamiento está influido por la demanda del servicio, la programación de las inversiones, las ampliaciones del sistema, las tasas de crecimiento de la población y, el crecimiento económico del municipio o localidad. Como mínimo, los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias deben proyectarse para 30 años en el caso de sistemas con nivel de complejidad alto y para 25 años en los demás sistemas (RAS 2000, TITULO D, página 30)

2.4. Cálculo de la población método aritmético: supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente (RAS 2000, TITULO B, página 27):

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} \times (T_f - T_{uc}) \quad (2.1)$$

Donde:

P_{uc}: Población correspondiente del último censo (habitantes)

P_{ci}: Población correspondiente al censo inicial (habitantes)

T_{uc}: Año correspondiente al último censo.

T_{ci}: Año correspondiente al censo inicial.

P_f: Año al cual se quiere proyectar la información.

2.5. Cálculo de la población método geométrico es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. La ecuación que se emplea es: (RAS 2000, TITULO B, página 27):

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}} \quad (2.2)$$

Donde:

r: Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

P_f: Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

P_{uc}: Población correspondiente último censo. (habitantes).

P_{ci}: Población correspondiente censo inicial (habitantes).

T_{uc}: Año correspondiente al último censo.

T_{ci}: Año correspondiente al censo inicial.

T_f: Año al cual se quiere proyectar la información.

La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc} - T_{ci})}} - 1 \quad (2.3)$$

2.6. Cálculo de la población método exponencial: requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población, en donde el último censo corresponde a la proyección del DANE. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y posean abundantes áreas de expansión. La ecuación empleada por este método es la siguiente (RAS 2000, TITULO B, página 28):

$$P_f = P_{ci} \times e^{kx(T_f - T_{ci})} \quad (2.4)$$

Donde *k* es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, así:

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}} \quad (2.5)$$

Donde

Pcp: Población del censo posterior (censo final en habitantes)

Pca: Población del censo anterior (censo inicial en habitantes)

Tcp: Año correspondiente al censo posterior. (Año final del censo)

Tca: Año correspondiente al censo anterior. (Año inicial del censo)

Ln: Logaritmo natural o neperiano

2.7. Coeficiente de retorno: el coeficiente de retorno es la fracción del agua potable de uso doméstico entregada como aguas residuales al sistema de recolección y evacuación. La estimación del coeficiente de retorno preferiblemente debe provenir de análisis de información existente en la localidad y/o de mediciones de campo realizadas por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado para cada una de las zonas del municipio.

En caso de que esta información no exista, o se considere muy limitada o escasa, pueden utilizarse, como guía, los valores del coeficiente de retorno dados, justificando apropiadamente el valor adoptado finalmente. (RAS 2000, TITULO D, paginas 51,52)

Tabla 2-3 Coeficiente de Retorno aguas residuales domesticas

Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de Retorno
Bajo y Medio	0,8
Medio Alto y Alto	0,85

Fuente: (RAS 2000, TITULO D, paginas 52)

2.8. Consumo Básico: Es aquel que satisface las necesidades esenciales básicas de una familia, según la resolución 750 de 2016 de comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico (CRA) lo determina de la siguiente forma (CRA, Resolución 750 de 2016, página 3):

Tabla 2-4 Consumo de agua potable básico

	Consumo Básico (m3/suscriptor /mes)
Ciudades y municipios con altitud promedio por encima de los 2.000 msnm	17
Ciudades y municipios con altitud promedio entre 1.000 y 2.000 msnm	18
Ciudades y municipios con altitud promedio por debajo de 1.000 msnm	19

Fuente: (CRA, Resolución 750 de 2016, página 4)

2.9. Cálculo de caudal agua residual domesticas: el cálculo se realiza tomando algunas variables importantes para el análisis del agua residual domestica que se produce, entre ellos el coeficiente de retorno, ya que se determina que el 80% de agua potable que es usada retorna al sistema de alcantarillado.

$$Q_D = \frac{C \times P \times R}{86.400} \quad (2.6)$$

Donde:

QD: es el caudal de aguas residuales domésticas (l/s)

C: es el consumo o dotación neta en (l/Hab-día)

P: es la población (Hab)

R: es el coeficiente de retorno.

2.10. Caudal de agua residual industrial (QI): Es necesario hacer consideraciones de velocidad mínima con base en el tipo de vertimientos y sustancias presentes para evitar obstrucciones o daños en la red. Sin embargo, para industrias pequeñas localizadas en zonas residenciales o comerciales pueden utilizarse los valores mostrados de caudal por hectárea de área bruta de industria. QI debe ser estimado para las condiciones iniciales, QIi, y finales, QIf, de operación del sistema, de acuerdo con los planes de desarrollo industrial previstos. (RAS 2000, TITULO D, página 52)

Tabla 2-5 Contribución de aguas residuales industriales para industrias pequeñas

Nivel de complejidad del sistema	Contribución Industrial (L/s/Ha ind)
Bajo	0.4
Medio	0.6
Medio Alto	0.8
Alto	1.0

Fuente: RAS 2000, TITULO D, página 52

2.11. Caudal de agua residual comercial (Q_c): En caso de que en la zona objeto del diseño de la red de alcantarillado de aguas residuales existan zonas netamente comerciales, el caudal de aguas residuales comerciales debe justificarse a través de un estudio detallado, ya sea de los consumos actuales, de los suscriptores comerciales, a lo cual se suma la información de lo establecido en la Resolución 0075 de 2011, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o la norma que la modifique o sustituya; o con base en los consumos diarios por persona, número de personas en áreas comerciales y en coeficientes de retorno mayores que los de consumos domésticos, para aquellos casos en que no exista información comercial de consumos históricos. En caso de que en el área objeto del proyecto existan zonas mixtas, comerciales y residenciales, los caudales comerciales deben estimarse teniendo en cuenta la concentración comercial relativa a la concentración residencial, utilizando una contribución de caudal comercial correspondiente a 0,5 L/s por ha comercial. Debe hacerse la revisión de las captaciones de agua utilizadas por el sector comercio, las cuales no necesariamente provienen del acueducto; pero si pueden estar interesados en utilizar el sistema de alcantarillado sanitario. (RAS 2000, TITULO D, página 53)

2.12. Caudal de agua residual institucional (Q_{inst}): El consumo de agua de las diferentes instituciones varía de acuerdo con el tipo y tamaño de estas, dentro de las cuales pueden mencionarse escuelas, colegios y universidades, hospitales, hoteles, cárceles, etc. Debe hacerse la revisión de las captaciones de agua utilizadas por el sector institucional, las cuales no necesariamente provienen del acueducto; pero si pueden estar interesados en utilizar el sistema de alcantarillado sanitario. Sin embargo, para pequeñas instituciones ubicadas en

zonas residenciales, los aportes de aguas residuales pueden estimarse en 0,5 L/s por ha institucional. (RAS 2000, TITULO D, página 53)

2.13. Cálculo del Caudal medio Diario (QMD): El caudal medio diario de aguas residuales para un tramo con un área de drenaje dada, es la suma de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales.

$$Q_{MD} = Q_D + Q_C + Q_I + Q_{INS} \quad (2.7)$$

Donde:

Q_D : Caudal de aportes domésticos

Q_C : Caudal de aportes comerciales

Q_I : Caudal de aportes institucionales

Q_{INS} : Caudal de aportes Institucionales

2.14. Caudal máximo horario (QMH): Con el fin de calcular el caudal máximo horario al final del período de diseño, se debe hacer uso del caso en que el factor de mayoración de aguas residuales domésticas se haya estimado utilizando como parámetro de cálculo el caudal medio final de aguas residuales el caudal máximo horario final será igual que (RAS 2000, TITULO D, página 56):

$$Q_{MH} = F \times Q_{MD} \quad (2.8)$$

Donde:

Q_{MH} : Caudal máximo horario final (l/s).

F : Factor de mayoración (adimensional).

Q_{MD} : Caudal medio diario final (l/s).

2.15. Factor de Mayoración: En el factor de mayoración para calcular el caudal máximo horario, utilizando como base el caudal medio diario, se tienen en cuenta las variaciones en el consumo de agua por parte de la población. El factor disminuye en la medida en que el número de habitantes considerado aumenta, pues el uso de agua se hace cada vez más heterogéneo y la red de tuberías puede contribuir cada vez más a amortiguar los picos de caudal. El factor de mayoración debe calcularse, hasta donde sea posible, haciendo uso de mediciones de campo, en donde se tengan en cuenta los patrones de consumo de la población y la

medición de los caudales en las horas de mayor consumo. Sin embargo, si esto no es factible, el diseñador puede utilizar la ecuación empírica de Flores en la cual se puede calcular F como función del número de habitantes, este último dado en miles de habitantes. (RAS 2000, TITULO D, página 57)

2.16. Factor de Mayoración Flores: factor de mayoración utilizado cuando no se tienen mediciones en campo

$$F = \frac{3,5}{p^{0,1}} \quad (2.9)$$

Donde:

F : Factor de mayoración (adimensional).

p : Población servida en miles de habitantes (hab/1000).

2.17. Caudal de infiltraciones: Es inevitable la infiltración de aguas subsuperficiales a las redes de sistemas de alcantarillado de aguas residuales, principalmente freáticas, a través de fisuras en las tuberías, en juntas hechas deficientemente, en la unión de tuberías con cámaras de inspección y demás estructuras, y en estos elementos cuando no son completamente impermeables. (RAS 2000, TITULO D, página 54)

Tabla 2-6 Aportes por infiltración en redes de sistemas 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	0,3	0,2	0,1
Medio Alto y Alto	0,3	0,2	0,1

Fuente: (RAS 2000, TITULO D, página 55)

2.18. Caudal de conexiones erradas: Deben considerarse los aportes de aguas lluvias al sistema de alcantarillado de aguas residuales, provenientes de malas conexiones de bajantes de techos y patios, QCE. Estos aportes son función de la efectividad de las medidas de control sobre la calidad de las conexiones domiciliarias y de la disponibilidad de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias. La información existente en la localidad sobre conexiones erradas debe utilizarse en la estimación de los aportes correspondientes. (RAS 2000, TITULO D, página 54)

El aporte máximo de las conexiones erradas a un sistema de alcantarillado de aguas residuales existente o proyectado debe ser de hasta 0,2 L/s por ha en el caso de que en el municipio exista un sistema de alcantarillado de aguas lluvias. (RAS 2000, TITULO D, página 54)

2.19. Sistema de cribado: Las rejillas deben colocarse aguas arriba de las estaciones de bombeo o de cualquier dispositivo de tratamiento subsecuente que sea susceptible de obstruirse por el material grueso que trae el agua residual sin tratar. Se recomienda un espaciamiento entre las barras de la rejilla de 15 a 50 mm para rejillas limpiadas manualmente, y entre 3 y 77 mm para rejillas limpiadas mecánicamente. La velocidad de aproximación a las rejillas debe estar entre 0.3 y 0.6 m/s para rejillas limpiadas manualmente, y entre 0.3 y 0.9 m/s para rejillas limpiadas mecánicamente. Se debe usar un rango de velocidades entre 0.3 y 0.6 m/s y entre 0.6 y 1.2 m/s para rejillas limpiadas manual y mecánicamente respectivamente. Para ninguno de los dos casos de limpieza manual o mecánica se permitirá una pérdida de cabeza mayor a 75 cm. (RAS 2000, TITULO A, página 57)

Para evaluar el diseño de las rejillas se analizaron cada uno de los parámetros, determinando si las dimensiones son las adecuadas, a continuación, se muestran cada una de las ecuaciones utilizadas para la evaluación del diagnóstico:

- **Área transversal del canal de rejas (A_t):**

$$A_t = \frac{QDT}{Va} \quad (2.10)$$

Donde:

Va : Velocidad de aproximación (m/s)

QDT : Caudal de diseño total (m³/s)

- **Tirante del canal (ha):**

$$ha = \frac{A_t}{b} \quad (2.11)$$

Donde:

A_t : Área Transversal (m²)

b : Ancho del canal (m)

- **Altura total (h):**

$$h = h_o + h_a \quad (2.12)$$

Donde:

h_o: borde libre (m)

h_a: tirante del canal (m)

- **Perímetro mojado (x):**

$$x = b + 2 \times h_a \quad (2.13)$$

Donde:

b: ancho del canal (m)

h_a: tirante del canal (m)

- **Radio hidráulico (R):**

$$R = \frac{At}{x} \quad (2.14)$$

Donde:

At: Área transversal (m²)

x: perímetro mojado (m)

- **Pendiente del canal (i):**

$$i = \left(\frac{V_a \times n}{R^{0.66}} \right)^2 \quad (2.15)$$

Donde:

V_a: Velocidad de aproximación (m/s)

n: Coeficiente de Manning

R: Radio hidráulico (m)

- **Numero de barras (Nb):**

$$Nb = \frac{b-s}{e+s} \quad (2.16)$$

Donde:

b: ancho del canal (m)

s: separación de las barras (m)

e: espesor de las barras (m)

- **Longitud de barras (Ln):**

$$Ln = \frac{ha}{\text{Sen}(\alpha)} \quad (2.17)$$

Donde:

ha: tirante del canal (m)

α : Angulo de inclinación

- **Área transversal de flujo en las rejas (Al):**

$$Al = ha \times (b - (Nb \times e)) \quad (2.18)$$

Donde:

ha: tirante del canal (m)

b: Ancho del canal (m)

Nb: Numero de barras

e: Espesor de las barras (m)

- **Velocidad de flujo en las rejas (Vc):**

$$Vc = \frac{QDT}{Al} \quad (2.19)$$

Donde:

A_l : Área transversal de flujo en las rejillas (m^2)

QDT : Caudal de diseño total (m^3/s)

2.20. Canaleta Parshall: se usa la canaleta Parshall normalmente con la doble finalidad de medir el caudal afluyente y realizar la mezcla rápido. Generalmente, trabaja con descarga libre. La corriente líquida pasa de una condición supercrítica a una subcrítica, lo que origina el resalto. Fue ideada en 1927 y planteada en varios tamaños con las dimensiones. (Diseño de plantas de tecnologías apropiadas, CEPIS, página 58)

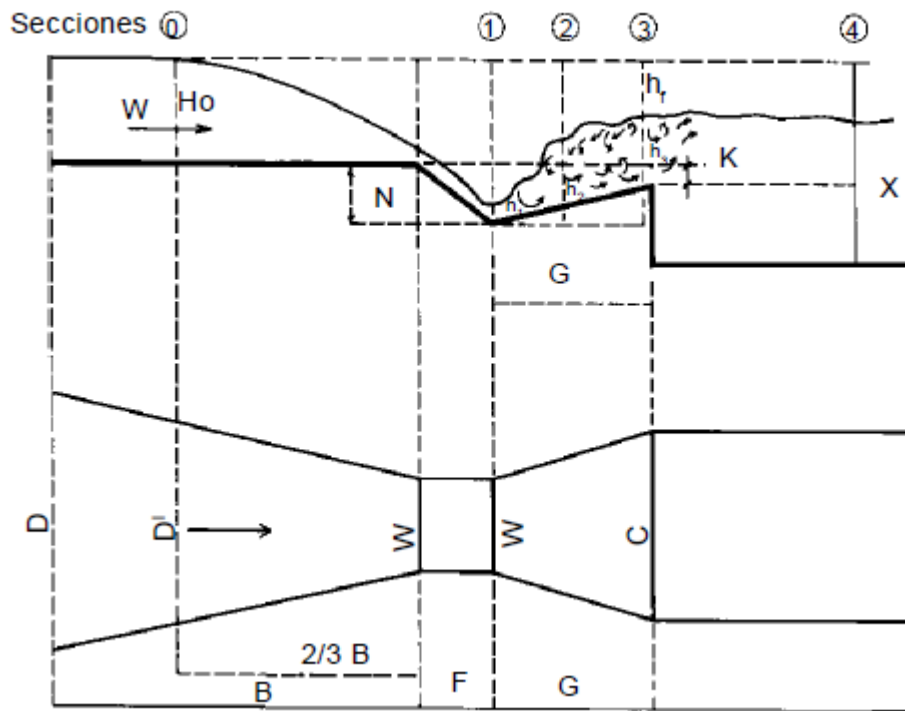


Ilustración 1 Secciones de la Canaleta Parshall

Tabla 2-7 Caudal de aportes Canaleta Parshall

Ancha de garganta W		Caudal Q(l/s)	
Pulg	Cm	Mínimo	Máximo
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	1426.3
4'	122.0	36.79	1921.5
5'	152.5	62.8	2422.0
6'	183.0	74.4	2929.0
7'	213.5	115.4	3440.0
8'	244.0	130.7	3950.0
10'	305.0	200.0	5660.0

Tabla 2-8 Dimensiones estándar de la Canaleta Parshall

W		A	B	C	D	E	F	G	K	N
Pul	cm	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1"	2,5	36,3	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	45,7	15,2	30,5	2,5	5,7
6"	15,2	61	61	39,4	40,3	61	30,5	61	7,6	11,4
9"	22,9	88	86,4	38	57,5	76,3	30,5	45,7	7,6	11,4
1'	30,5	137,2	134,4	61	84,5	91,5	61	91,5	7,6	22,9
1" ½	45,7	144,9	142	76,2	102,6	91,5	61	91,5	7,6	22,9
2'	61	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61	91,5	7,6	22,9
3'	91,5	167,7	164,5	122	157,2	91,5	61	91,5	7,6	22,9
4'	122	183	179,5	152,5	193,8	91,5	61	91,5	7,6	22,9
5'	152,5	198,3	194,1	183	230,3	91,5	61	91,5	7,6	22,9
6'	183	213,5	209	213,5	266,7	91,5	61	91,5	7,6	22,9
7'	213,5	228,8	224	244	303	91,5	61	91,5	7,6	22,9
8'	244	244	239,2	274,5	340	91,5	61	91,5	7,6	22,9
10'	305	274,5	427	366	475,9	122	91,5	183	15,3	34,3

Tabla 2-9 Dimensiones de valores de K y m para Canaleta Parshall

Ancho de garganta		K	m
pulgadas	metros		
3	0,075	3,704	0,646
6	0,15	1,842	0,636
9	0,229	1,486	0,633
1	0,305	1,276	0,657
1 ½	0,46	0,966	0,65
2	0,61	0,795	0,645
3	0,915	0,608	0,639
4	1,22	0,505	0,634
5	1,525	0,436	0,63
6	1,83	0,389	0,627
8	2,44	0,324	0,623

- **Altura del agua en la sección de medición (h_1):**

$$h_1 = K * Q^m \quad (2.20)$$

Donde:

K: Valor para obtenido de la tabla 2.8. Valores de K y m

m: Valor para obtenido de la tabla 2.8. Valores de K y m

Q: Caudal de diseño total (m^3/s)

- **Ancho de la canaleta en la sección media (W_1):**

$$W_1 = \frac{2}{3}(D - W) + W \quad (2.21)$$

Donde:

D: Valor de la tabla 2.7. de dimensiones estandarizadas del medidor Parshall

W: Valor de la tabla 2.7. de dimensiones estandarizadas del medidor Parshall

- **Velocidad del agua en la sección de medición (V_1)**

$$V_1 = \frac{Q}{D * h_1} \quad (2.22)$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

D: Valor de la tabla 2.7. de dimensiones estandarizadas del medidor Parshall

h₁: Altura del agua en la sección de medición (m)

- **Caudal específico en la garganta de la canaleta (q)**

$$q = \frac{Q}{W} \quad (2.23)$$

Donde:

D: Valor de la tabla 2.7. de dimensiones estandarizadas del medidor Parshall

Q: Caudal de diseño total (m³/s)

- **Carga hidráulica total disponible (E)**

$$E = \frac{(V_1)^2}{2 * g} + h_1 + N \quad (2.24)$$

Donde:

V₁: Velocidad del agua en la sección de medición (m/s)

g: Gravedad (m/s²)

N: Dimensión de la canaleta (m)

- **Velocidad del agua antes del resalto (V_2)**

$$V_2 = 2 * \frac{2g * E^{0,5}}{3} * \cos \frac{\theta}{3} \quad (2.25)$$

Donde:

g: Gravedad (m/s²)

E: Carga hidráulica total disponible

- **Altura antes del agua antes del resalto (h₂)**

$$h_2 = \frac{q}{V_2} \quad (2.26)$$

Donde:

V₂: Velocidad del agua antes del resalto (m/s)

q: Caudal específico en la garganta de la canaleta (m³/s/m)

- **Numero de froude (F)**

$$F = \frac{V_2}{\sqrt{h_2 * g}} \quad (2.27)$$

Donde:

V₂: Velocidad del agua antes del resalto (m/s)

h₂: Altura del agua antes del resalto (m)

g: Gravedad (m/s²)

- **Altura del resalto (h₃)**

$$h_3 = \frac{h_2}{2} * \sqrt{1 + 8(f)^2} - 1 \quad (2.28)$$

Donde:

h₂: Altura del agua antes del resalto (m)

F: Numero de froude

- **Velocidad en el resalto (V₃)**

$$V_3 = \frac{Q}{W * h_2} \quad (2.29)$$

Donde:

Q : Caudal de diseño total (m³/s)

W : Valor de la tabla 2.7. de dimensiones estandarizadas del medidor Parshall

- **Altura lámina de agua al final de la canaleta (h_4)**

$$h_4 = h_3 - (N - K) \quad (2.30)$$

Donde:

h_3 : Altura del resalto (m)

N : Valor de la tabla 2.7. de dimensiones estandarizadas del medidor Parshall

K : Valor de la tabla 2.7. de dimensiones estandarizadas del medidor Parshall

- **Velocidad en la sección de salida (V_4):**

- $V_4 = \frac{Q}{C \cdot h_3} \quad (2.31)$

Donde:

Q : Caudal de diseño total (m³/s)

C : Coeficiente obtenido 1.22

- **Perdida de carga en el resalto (h_f)**

$$h_f = h_1 + K - h_4 \quad (2.32)$$

Donde:

K : Valor de la tabla 2.7. de dimensiones estandarizadas del medidor Parshall

h_1 : Altura en la sección de medición (m)

h_4 : Altura lámina de agua al final de la canaleta (m)

2.21. Desarenador: Independiente de las características geométricas de los desarenadores, estos deben localizarse después de rejillas y antes de los tanques de sedimentación primaria y estaciones de bombeo. Los desarenadores deben diseñarse de manera tal que la velocidad pueda controlarse. La velocidad debe estar en un rango entre 0.2 m/s y 0.4 m/s. Se debe

construir un mínimo de dos unidades en cualquiera de los niveles de complejidad. Cada unidad debe tener la capacidad para operar con los caudales de diseño cuando la otra unidad está en limpieza. Se recomienda un rango entre 700 y 1600 m³/m²/día de tasa de desbordamiento superficial. Estos valores pueden ser expresados en términos de velocidad de sedimentación, variando aproximadamente entre 30 m/h y 65 m/h. El tiempo de retención hidráulico debe basarse en el tamaño de las partículas que deben separarse. (RAS 2000, TÍTULO A, página 78)

- **Caudal mínimo por unidades (Q_{min}):**

$$Q_{min} = \frac{QMD}{No.Unidades} \quad (2.33)$$

Donde:

QMD: Caudal de diseño total (m³/s)

No. *Unidades*: Número de unidades existentes

- **Velocidad crítica de arrastre (V_a):**

$$V_a = \frac{160,56*(d^{0,5})}{100} \quad (2.34)$$

Donde:

d: Diámetro de partícula a remover.

- **Área Transversal (A_t):**

$$A_t = \frac{QDT}{V_h} \quad (2.35)$$

Donde:

QDT: Caudal de diseño

V_h: Velocidad Horizontal

- **Área superficial (A_s):**

$$A_s = \frac{QDT}{V_s} \quad (2.36)$$

Donde:

QDT: Caudal de diseño

Vh: Velocidad de sedimentación

- **Ancho del desarenador (B):**

$$B = \frac{(2 * At)^{0,5}}{n} \quad (2.37)$$

Donde:

At: Área transversal

n: Número de unidades

- **Longitud total (L):**

$$L = \frac{As}{(n * B)} \quad (2.38)$$

Donde:

s: Área superficial

n: Número de unidades

B: Ancho del desarenador

- **Altura útil máxima (hmax):**

$$hmax = \frac{Qmax}{(Va * B)} \quad (2.39)$$

Donde:

Qmax: Caudal máximo por unidad

Va: Velocidad crítica de arrastre

B: Ancho del desarenador

- **Altura útil mínima (hmin):**

$$hmin = \frac{Qmin}{(Va * B)} \quad (2.40)$$

Donde:

Q_{min}: Caudal máximo por unidades

V_a: Velocidad crítica de arrastre

B: Ancho del desarenador

- **Altura total (**H**):**

$$H = h_{max} + 0,3 \quad (2.41)$$

Donde:

h_{max}: Altura útil por unidades

- **Longitud canal de transición (**α**):**

$$\alpha = \frac{B-b}{2 * \tan(\alpha)} \quad (2.42)$$

Donde:

B: Ancho del desarenador

b: Ancho del canal de entrada

- **Tiempo de retención (**T_s**):**

$$T_s = \frac{H}{V_s} \quad (2.43)$$

Donde:

H: Altura total

V_s: Velocidad de sedimentación

- **Tiempo de recorrido (**T_r**):**

$$T_r = \frac{(B * L_{tr} * H)}{Q_{max}} \quad (2.44)$$

Donde:

B: Ancho del desarenador

L_{tr}: Longitud canal de transición

H: Altura total

Q_{max}: Caudal máximo por unidad

2.22. UASB: en el UASB (Upflow Anaerobic Sluge Blanket) por sus siglas en inglés o RAFA (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente), el agua residual doméstica, proveniente de un tratamiento preliminar, de rejillas, desarenado y trampa de grasas, debe entrar al reactor por el fondo y fluir hacia la parte superior, manteniendo en pulsación el manto de lodos granular. es necesario garantizar un sistema adecuadamente diseñado de alimentación del reactor, para una velocidad ascendente uniforme entre 0,8 y 1,0 m/h. la profundidad del tanque debe estar entre 4,5 m y 6 m. en la parte superior del tanque, cubriendo la superficie, debe disponerse una estructura de recolección de gas y separación de solidos (SGSL), con el fin de que sean retornados al interior del reactor. en cuanto a la recomendación del agua tratada, se debe contar con una canaleta universal. (Resolución 0330 de 2017, RAS, página 119)

- **Volumen del reactor (V_R)**

$$V_R = THR * Q \quad (2.45)$$

Donde

THR: tiempo de retención hidráulica (s)

Q: Caudal de diseño total (m³/s)

- **Área del reactor (A):**

$$A = \frac{V}{H} \quad (2.46)$$

Donde:

V: Volumen del reactor (m³)

H: Altura del reactor (m)

- **Longitud 2 (L₂)**

$$L_2 = \frac{A}{L_1} \quad (2.47)$$

Donde:

A: Área del reactor (m²)

L₁: Longitud del Reactor (m)

- **Longitud 3 (L₃)**

$$L_3 = \frac{V}{L_1} \quad (2.48)$$

Donde:

V: Volumen del Reactor (m³)

L₁: Longitud del Reactor (m)

- **Flujo másico (F_m)**

$$F_m = V \times Carga \quad (2.49)$$

Donde:

V: Volumen del Reactor (m³)

- **Carga hidráulica (C_H)**

$$C_H = \frac{Q}{A_R} \quad (2.50)$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

A_R: Área del reactor (m²)

- **Velocidad en flujo en la campana (V_f)**

$$V_F = 4 (C_H) \quad (2.51)$$

Donde:

C_H: Carga hidráulica

2.23. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA): Se construyen como una cámara anexa al final del pozo séptico o como una cámara independiente, el lecho filtrante podrá estar constituido por un lecho de grava, con un volumen de 0,02 a 0,04 m³ por cada 0,1 m³/día de aguas residuales que se van a tratar; también será posible emplear material filtrante plástico, utilizando la mitad del volumen anterior. (Min Vivienda, Ciudad y Territorio, Resolución 0330 de 2017, Pagina 123)

- **Volumen por compartimento (Vol)**

$$Vol = B * H * P \quad (2.52)$$

Donde:

P: Altura (m)

H: Ancho (m)

B: Longitud (m)

- **Volumen unidad (Vol T)**

$$Vol T = Vol * 2 \quad (2.53)$$

Donde:

Vol.: Volumen por compartimiento

- **Tiempo hidráulico de retención (THR)**

$$THR = \frac{Vol T.}{QDT} \quad (2.54)$$

Donde:

Vol T.: Volumen unidad (m³)

QDT: Caudal de diseño total (m³/s)

3. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En términos de división político-administrativa el Municipio de Granada, se encuentra dividido en 13 veredas y 2 centros poblados; el municipio limita por el norte con los municipios de San Antonio y Soacha, por el oriente con Silvania y Sibaté, el occidente con Viotá y Mesitas del Colegio y por el sur con Silvania. Su altitud varía entre los 1.800 m.s.n.m y 3.000 m.s.n.m, alturas donde se encuentra vegetación de subpáramo y bosque de niebla, también se pueden observar áreas de praderas, bosques, y actividades agrícolas, pecuarias y forestales.

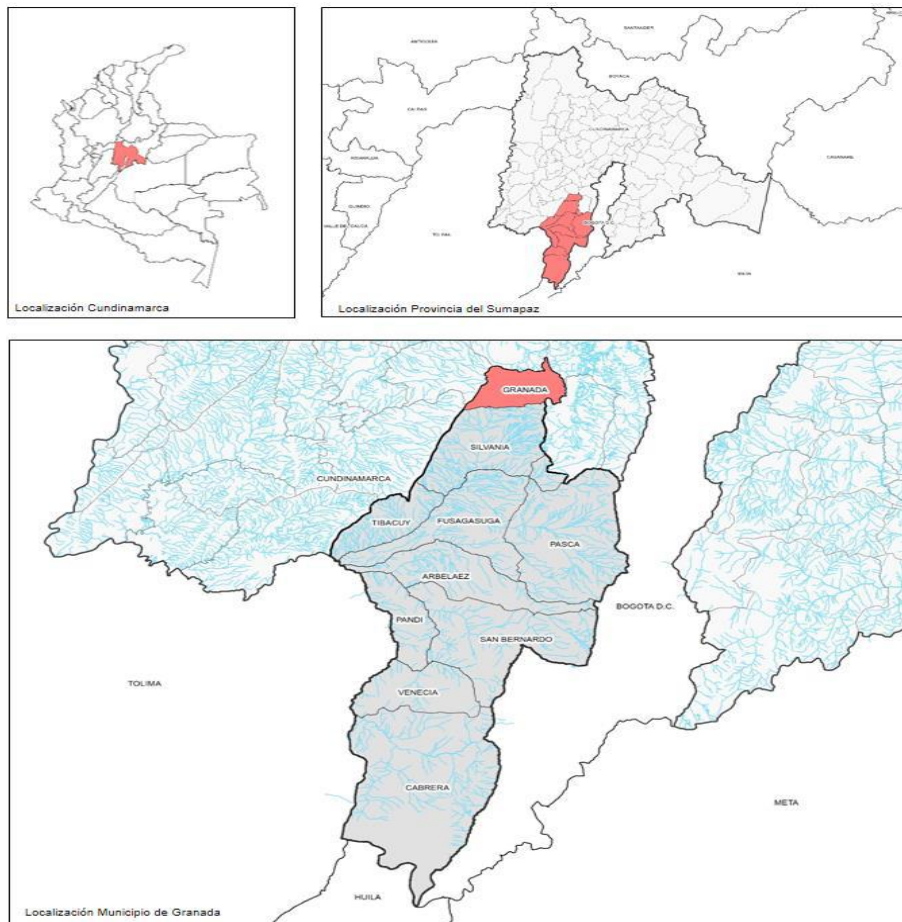


Ilustración 2 Ubicación Geográfica Granada (Cundinamarca)

Fuente: EOT, 2010

3.1. Población

Para el año 2010 la población del municipio de granada era de 1.817 habitantes entre los cuales el 50,3% eran mujeres y el 49,7% hombres, (DANE, 2.010) esto solo en la cabecera

central del municipio, datos que los entes oficiales en las administraciones locales proporcionan. A continuación, se mencionan los datos suministrados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), la población correspondiente al año 2.005 y 2.010, de donde se tomó el dato de la población de la cabecera del municipio, para realizar los datos de la proyección de la población.

Tabla 3-1 Población Granada para el año 2005 – 2010

Año	Población Cabecera
2.005	1.592
2.010	1.817

Fuente: DANE

3.1.1. Estudios de población y demanda

El número de habitantes que se determina para el diseño el sistema de alcantarillado y su posterior tratamiento es un parámetro básico en el cálculo del caudal de diseño. Para el estudio de la población futura es necesario tomar como principal parámetro las características sociales, culturales y económicas de sus habitantes en tiempos presentes y futuros, para poder analizar predicciones sobre su desarrollo, enfocándose en los progresos que se pueden presentar en su entorno cultural, económico y productivo. (Cualla, 2003)

3.2. Red hídrica Municipal

Las dos cuencas hidrográficas en el municipio de Granada son: la hoya del río Bogotá con la microcuenca de la quebrada Sabaneta y la hoya del río Sumapaz con la subcuenca del Río Subía y las microcuencas de la quebrada Río Seco, quebrada Guasimal y la quebrada Santa Helena. (EOT, 2010)

La cuenca del Río Subía posee un área aproximada de 120Km² que corresponde 75% del área al municipio de Sylvania y el 25% al municipio de Granada, la cuenca del Río Subía se caracteriza por presentar geoformas en valles por lo cual se configura un relieve abrupto dentro de la zona de la cuenca. El río Subía en la actualidad es un escenario de desarrollo

económico importante para el municipio donde se ejercen actividades frutícolas, pecuarias, y agrícolas por lo que los problemas de contaminación en las quebradas y cuerpos de agua es evidente. Según el diagnóstico del POMCA Río Panches el Río Subía uno de los principales afluentes de la cuenca Río Panches aguas arriba presenta índices muy altos en contaminación por materia orgánica o índice de contaminación ICOMO. (EOT, 2010)

3.3. Planta de tratamiento de aguas residuales de Granada (Cundinamarca)

La ubicación del área de la planta de tratamiento se encuentra alejada a más de 500 metros de distancia del casco urbano de Granada, por lo que el tratamiento anaerobio es factible de ser usado, ya que, al estar alejada, no ejerce influencia de olores. Se adjunta plano de localización de la PTAR.

La PTAR del municipio de granada trata el agua proveniente del casco urbano, sin tomar los caudales emisarios de los centros poblados de San Raimundo y la Veintidós ya que estos están contemplados en el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. (PMAA) el cual tiene proceso de ejecución en el presente año en curso, para el cálculo de los caudales se tomaron los parámetros de referencia contemplados en el RAS 2000, en la cual se tiene una extensión en tubería de 3,250 m en el casco urbano

El sistema de alcantarillado es combinado por ello se tienen contribuciones de parte doméstica, comercial, industrial, institucional, infiltración y de conexiones erradas, y las conducciones de aguas lluvias por las precipitaciones que se tienen, a continuación, se describe la extensión de cada una de las áreas de importancia para determinar el aporte a el caudal de diseño total para el tratamiento.

Se debe realizar un registro completo sobre toda la gestión documental que se tenga de información base para poder iniciar el debido diagnóstico y establecer un cronograma de visitas en campo una vez se hayan examinado por completo estos, con el fin de que las visitas en campo sean determinantes para iniciar el debido diagnóstico de lo proyectado, lo ejecutado y el funcionamiento de la planta o de cualquier tipo de diagnóstico, ya que sin un horizonte claro en el marco contextual las visitas de campo no tendrán un rumbo y no serán productivas.

3.3.1. Extensión por hectáreas en áreas de importancia: según la extensión en las actividades que se desarrollan en el municipio, se establece la siguiente tabla con la información dada en hectáreas para los cálculos pertinentes de los caudales para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, (EOT,2.010)

Tabla 3-2 Extensión de áreas por hectáreas (hc)

Área	% Área total (hc)
Área Industrial	0,01
Área comercial	0,08
Área Institucional	0,24

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Sistema de cribado: Primero se analizarán todos los datos, que fueron tomados en campo obtenidos de las memorias consultadas, en la *tabla 3-3* se muestran los datos relacionados con el sistema de cribado:

Tabla 3-3 Datos Sistema de cribado

Descripción	Valor
Velocidad de aproximación	0,4 m/s
Ancho del canal	1,2 m
Borde libre	0.25 m
Separación entre Barras	0.03 m
Espesor de las barras	0.015 m
Angulo de inclinación	45°

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Canaleta Parshall: En el momento la PTAR posee una canaleta Parshall de 3” en la garganta, en la *tabla 3-4*, se muestran los datos de la canaleta Parshall:

Tabla 3-4 Datos de Canaleta Parshall

Descripción	Valor
Ancho de Garganta (W)	7,6 cm
Sección convergente (A)	46,6 cm
Longitud de la sección convergente (B)	45,7 cm

Ancho de la salida (C)	17,8 cm
Ancho de la entrada de la sección convergente (D)	25,9 cm
Profundidad total (E)	38,1 cm
Longitud de la garganta (F)	15,2 cm
Longitud de la sección divergente (G)	30,5 cm
Long paredes sección divergente (K)	2,5 cm
Diferencia de elevación ente salida y cresta (N)	5,7 cm

Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Desarenador: Seguidamente, en la *tabla 3-5* se muestran algunos de los datos pertinentes tomados en campo para realizar el debido diagnóstico:

Tabla 3-5 Datos de Desarenador

Descripción	Valor
Velocidad de asentamiento del Material	0.021 m/s
Velocidad horizontal de flujo	0.3 m/s
Número de Unidades de desaranación	2 unid
Temperatura promedio	19 °C

Fuente: Elaboración propia

3.3.5. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB) En la *table 3-6*, se muestran los datos del UASB:

Tabla 3-6 Datos UASB

Descripción	Valor
Diámetro	8 m
Altura	4.5 m
Borde Libre	0,5 m

Fuente: Elaboración propia

3.3.6. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente: En la *tabla 3-6*, se muestran los datos del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente:

Tabla 3-7 Datos del (FAFA)

Descripción	Valor
Largo	4 m
Ancho	3 m
Profundidad	1.8 m

Fuente: Elaboración propia

3.4. Proyección de la población: Utilizando la Guía para los estudios necesarios se orientan parámetros tomados en el Reglamento Técnico del Sector de agua potable y Saneamiento Básico (RAS 2000), en cuanto a la población y datos oficiales, estos fueron tomados por lo reportado en el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) como se reporta en la **tabla 3-1.**, dado que la estimación de la población es uno de los aspectos para la definición del nivel de complejidad según lo determinado, se establece que esa población debe corresponder a la proyectada al final del periodo de diseño **numeral 2.3.** con el año cero a partir del 2.010 finalizando en el año 2.036, llamado también horizonte de planeamiento del proyecto.

3.4.1. Calculo la población futura por el método aritmético: mediante la **ecuación 2.1**, y usando los datos de la **tabla 3-1.** se realiza el cálculo de la proyección de la población para el municipio de granada de la siguiente forma:

$$P_f = 1.817 + \frac{1,817 - 1,592}{2,010 - 2,005} \times (2,010 - 2,005) = 1.862$$

3.4.2. Cálculo de la población futura por el método geométrico: mediante la **ecuación 2.3 y 2.2**, usando los datos de la **tabla 3-1.** se realiza el cálculo de la proyección de la población para el municipio de granada de la siguiente forma:

$$r = \left(\frac{1,817}{1,592} \right)^{\frac{1}{(2,010-2,005)}} - 1 = 0.027$$

$$P_f = 1,817(1 + 0.026)^{2,010 - 2,005} = 1,865.69$$

3.4.3. Cálculo de la población futura por el método exponencial: mediante la *ecuación 2.5 y 2.4*, usando los datos de la *tabla 3-1*, se realiza el cálculo de la proyección de la población para el municipio de granada de la siguiente forma:

$$k = \frac{\ln(1,817) - \ln(1,592)}{2,010 - 2,005} = 0.026$$

$$P_f = 1,817 \times e^{0.026(2,010 - 2,005)} = 1,865.60$$

A continuación, se muestra en la *tabla 3-8*, el resumen de los cálculos efectuados para la proyección de la población para la determinación del nivel de complejidad según la población proyectada y los parámetros establecidos.

Tabla 3-8 Proyección de la población

AÑO	PROYECCION ARITMETICA	PROYECCION GEOMETRICA	PROYECCION EXPONENCIAL
2,010	1,817	1,817	1.817
2,011	1,862	1,866	1,866
2,012	1,907	1,916	1,916
2,013	1,952	1,967	1,967
2,014	1,997	2,020	2,020
2,015	2,042	2,074	2,074
2,016	2,087	2,129	2,129
2,017	2,132	2,186	2,186
2,018	2,177	2,245	2,245
2,019	2,222	2,305	2,305
2,020	2,267	2,367	2,367
2,021	2,312	2,430	2,430
2,022	2,357	2,495	2,495
2,023	2,402	2,562	2,562
2,024	2,447	2,631	2,631
2,025	2,492	2,701	2,701
2,026	2,537	2,774	2,774
2,027	2,582	2,848	2,848
2,028	2,627	2,924	2,924
2,029	2,672	3,003	3,003
2,030	2,717	3,083	3,083
2,031	2,762	3,166	3,166
2,032	2,807	3,251	3,251
2,033	2,852	3,338	3,338
2,034	2,897	3,427	3,427
2,035	2,942	3,519	3,519
2,036	2,987	3,613	3,613

Fuente: Elaboración propia

En la determinación de la proyección de la población, se tomó en cuenta la recomendación del RAS 2000 de la tabla métodos de cálculo permitidos *tabla 2-2*. según el nivel de complejidad del sistema para la proyección de la población. Definiendo finalmente que el nivel de complejidad es medio de acuerdo con la *tabla 2-1*. y que la proyección de la población se realizó mediante el método exponencial como parámetro para la determinación de la población futura, ya que este estimaría la razón más crítica o el cálculo de la población más elevado con el fin de dar un mejor horizonte.

4. CÁLCULOS DEL DIAGNOSTICO DEL SISTEMA

Con el propósito de evaluar las dimensiones actuales de la PTAR de Granada, se realizó el dimensionamiento de las unidades para posteriormente cotejarlas, analizando la operación del tratamiento preliminar, secundario y un tratamiento a los lodos que allí se producen, a continuación, se realiza una descripción de cada uno de los procesos y pertinente análisis:

4.1. Caudales Sanitarios

Para determinar los aportes a el sistema de alcantarillado y su posterior tratamiento en la planta de tratamiento de aguas residuales, se realiza el cálculo de los caudales de las diferentes áreas presentes en el municipio descritas en *la tabla 3-2.*, como se demuestra a continuación:

4.1.1. Aguas Residuales Domesticas: El cálculo del caudal de aporte de aguas residuales domesticas se realizó con la *ecuación 2.6*, tomando los datos de la proyección de la población de *la tabla 3-8*. tomando como base el consumo reportado en *la tabla 2-4*. para ello primero se hizo la conversión de la dotación a litros/habitante/día, tomando como referencia la dotación establecida por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), y lo reportado en *la tabla 2-3*. donde se reporta el coeficiente de retorno para el nivel de complejidad medio, para luego determinar el caudal aportante de la siguiente forma:

$$17 \frac{m^3}{susc/mes} * \frac{1 susc}{4 hab} * \frac{1000 l}{1 m^3} * \frac{1 mes}{30 dias} = 141.66 \frac{l}{hab * dia}$$

$$Q_D = \frac{141.66 \frac{l}{hab * dia} * 3,613 hab * 0.80}{86,400} = 4.74 \frac{l}{s}$$

4.1.2. Aguas Residual Industrial: Según *la tabla 3-2*. que reporta el área en hectáreas del sector industrial en el municipio, para los cálculos que determinan el aporte del caudal de aguas industriales se efectuaron acordes a los aportes de determina el RAS 2000 según lo reportado en *la tabla 2-5*. para el nivel de complejidad medio, con base a ello se efectuaron los cálculos de la siguiente forma:

$$0.1 \text{ ha} * 0.6 \frac{l}{s * \text{Ha}} = 0.06 \frac{l}{s}$$

4.1.3. Aguas Residual Comercial: Para el sector comercial en la *tabla 3-2*. se reporta el área en hectáreas, para el cálculo pertinente de los aportes que determina el RAS 2000 en el *numeral 2.11*. cuando no se tienen datos oficiales, el cálculo para determinar el caudal de aporte se menciona a continuación:

$$0.8 \text{ ha} * 0.5 \frac{l}{s * \text{Ha}} = 0.4 \frac{l}{s}$$

4.1.4. Agua residual institucional: De acuerdo con el área que reporta para el sector institucional en la *tabla 3-2*. y lo establecido en el RAS 2000 en el *numeral 2.12*. se realizan los cálculos mencionados a continuación:

$$0,24 \text{ ha} * 0,5 \frac{l}{s * \text{Ha}} = 0.12 \frac{l}{s}$$

4.1.5. Estimación Del Caudal Medio Diario (QMD): El caudal medio diario de aguas residuales (QMD) para un colector con un área de drenaje dada es la suma de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales. Para el cálculo de este caudal de aportes se tomaron los resultados anteriormente mencionados en los *numerales 4.1.1., 4.1.2., 4.1.3., 4.1.4.* mediante la *ecuación 2.7*.

$$Q_{MD} = 4.74 \frac{l}{s} + 0.06 \frac{l}{s} + 0.4 \frac{l}{s} + 0.12 \frac{l}{s}$$

$$Q_{MD} = 5.32 \frac{l}{s}$$

4.1.6. Estimación Del Caudal Máximo Horario (QMH): A partir del QMD se estima el caudal máximo horario, (*QMH*), acorde a lo que establece el RAS para el cálculo del caudal máximo horario, con lo obtenido en el *numeral 4.1.5*. se establece el factor de Mayoración mediante la *ecuación 2.9*. con los datos obtenidos en la *tabla 3-8.*, para posteriormente determinarlo con los resultados obtenidos en la *ecuación 2.8* descrito a continuación:

$$F = \frac{3.5}{3,613^{0,1}}$$

$$F = 1.54$$

Una vez establecido F , se procede a estimar el Q_{MH} :

$$Q_{MH} = 5.32 \frac{l}{s} * 1.54$$

$$Q_{MD} = 8.21 \frac{l}{s}$$

4.1.7. Caudal por infiltraciones (QINF): Para el cálculo del caudal aportante se toma la extensión de la tubería de los colectores del municipio como se reporta en el **numeral 3.3.**, para realizar la conversión a hectáreas, y la recomendación de la **tabla 2-6.** de los aportes por infiltraciones según la recomendación del RAS 2000, para infiltración alta y nivel de complejidad medio:

$$3,250 \text{ m} * 0.254 \text{ m} = 825.5 \text{ m}^2$$

Luego se realiza la conversión de metros cuadrados (m^2) a hectáreas (ha):

$$825.5 \text{ m}^2 * \frac{1 \text{ ha}}{1,000 \text{ m}^2} = 0.8255 \text{ ha}$$

$$Q_{INF} = 0.3 \frac{l}{s * ha} * 0.8255 \text{ ha}$$

$$Q_{INF} = 0.24765 \frac{l}{s}$$

4.1.8. Caudal por conexiones erradas, (QCE): El cálculo se realiza con el dato reportado en la **tabla 3-2.** y la recomendación del RAS 2000 en el **numeral 2.18.** como guía de valores máximos de los aportes por conexiones erradas para un sistema con recolección y evacuación de aguas lluvias y sin sistema pluvial:

$$Q_{CE} = 0.2 \frac{l}{s * ha} * 1.4 ha$$

$$Q_{CE} = 0.28 \frac{l}{s}$$

A continuación, en la **tabla 4-1**. se mencionan todos los resultados de los cálculos realizados de los caudales aportantes a en el sistema de alcantarillado:

Tabla 4-1 Resultados de Cálculos caudales sanitarios

Parámetro	Dato
Área total (ha)	1.4
Población 2.036 (hab)	3,613
Demanda (l/hab/día)	141.66
Coefficiente de retorno de aguas residuales	0.8
Caudal Domestico (l/s)	4.74
Caudal industrial (l/s)	0.06
Caudal Comercial (l/s)	0.4
Caudal institucional (l/s)	0.12
Caudal medio diario (l/s)	5.32
Factor de Mayoración (Flores)	1.54
Q máximo horario (l/s)	8.21
Qce (l/s)	0.25
Qinf (l/s)	0.28
Caudal de diseño total (l/s)	8.73

Fuente: Elaboración propia

4.2. Sistema de cribado o desbaste (Rejillas)

Para la determinación y análisis de los cálculos se toma como referencia los parámetros mínimos de diseño establecidos en el RAS 2000 *numeral 2.19.*, y algunas recomendaciones de Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) descritos a continuación, para poder realizar los debidos cálculos mencionados:

- Área transversal del canal de rejillas (A_t), mediante la *ecuación 2.10.*, y los resultados de la *tabla 4-1.* realizamos el cálculo para la determinación:

$$A_t = \frac{0.009 \text{ m}^3/\text{s}}{0.4 \text{ m/s}}$$

$$A_t = 0.0225 \text{ m}^2$$

- Tirante del canal (h_a), mediante la *ecuación 2.11*, y el resultado obtenido en el numeral anterior y lo reportado en la *tabla 3-3*, realizamos el cálculo para la determinación:

$$h_a = \frac{0.0225 \text{ m}^2}{1.2 \text{ m}}$$

$$h_a = 0.018 \text{ m}$$

- Altura total (h), mediante la *ecuación 2.12*, y el resultado obtenido en el numeral anterior y lo reportado en la *tabla 3-3*, realizamos el cálculo para la determinación:

$$h = 0.25 \text{ m} + 0.018 \text{ m}$$

$$h = 0.2682 \text{ m}$$

- El perímetro mojado (x) mediante la *ecuación 2.13.*, y los resultados obtenidos en el tirante del canal, realizamos el cálculo para la determinación:

$$x = 1.2 \text{ m} + 2 \times 0.018 \text{ m}$$

$$x = 1.236 \text{ m}$$

- Radio hidráulico (R), mediante la **ecuación 2.14**, y el resultado obtenido en el área transversal y en el numeral anterior, realizamos el cálculo para la determinación:

$$R = \frac{1.236 \text{ m}^2}{0.0225 \text{ m}}$$

$$R = 0.0177 \text{ m}$$

- Pendiente del canal (i), mediante la **ecuación 2.15**, y lo reportado en la **tabla 3-3** realizamos el cálculo para la determinación:

$$i = \left(\frac{0.4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.013}{0.0177^{0.66}} \right)^2$$

$$i = 0.0055$$

- Numero de barras (Nb), mediante la ecuación 2.16, y lo reportado en la **tabla 3-3** realizamos el cálculo para la determinación:

$$Nb = \frac{1.2 \text{ m} - 0.03 \text{ m}}{0.015 \text{ m} + 0.03 \text{ m}}$$

$$Nb = 26 \text{ Und}$$

- Longitud de barras (Ln), mediante la **ecuación 2.17**, y el resultado obtenido en el numeral del tirante del canal realizamos el cálculo para la determinación

$$Ln = \frac{0.018 \text{ m}}{\text{Sen}(45)}$$

$$Ln = 0.0214 \text{ m}$$

- Área transversal de flujo en las rejas (A_l), mediante la ecuación 2.18 realizamos el cálculo para la determinación:

$$A_l = 0.018 \text{ m} \times (1.2 \text{ m} - (26 * 0.015 \text{ m}))$$

$$A_l = 0.0147 \text{ m}^2$$

- Velocidad de flujo en las rejas (V_c), mediante la ecuación 2.19 realizamos el cálculo para la determinación:

$$V_c = \frac{0.009 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0147 \text{ m}^2}$$

$$V_c = \frac{0.009 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0147 \text{ m}^2}$$

En la **tabla 4.2.** se tienen los resultados de los cálculos realizados para observar las condiciones de las cribas y para poder realizar un debido diagnóstico:

Tabla 4-2 Resultados Sistema de Cribado

	Descripción	Unid	Proyectado	Existente
QDT	<i>Caudal de diseño</i>	m ³ /s	0.009	0.010
QMD	<i>Caudal mínimo</i>	m ³ /s	0.005	0.008
Va	<i>Velocidad de aproximación a las rejas</i>	m/s	0.4	0.3
b	<i>Ancho del canal</i>	m	1.2	1.2
Au	<i>Ancho transversal del canal de las rejas</i>	m ²	0.022	N.R.
ha	<i>Tirante en el canal</i>	m	0.018	0.015
ho	<i>Borde libre</i>	m	0.25	0.23
h	<i>Altura total</i>	m	0.2682	0.283
n	<i>Coficiente de Manning</i>		0.013	0.013
x	<i>Perímetro mojado</i>		1.236	1.30
R	<i>Radio hidráulico</i>	m	0.0177	0.018
i	<i>Pendiente del canal</i>	m	5.572E-03	5.802E-03
S	<i>Separación entre las barras</i>	m	0.03	0.03
e	<i>Espesor entre las barras</i>	m	0.015	0.016
Nb	<i>Numero de barras</i>	und	26	32
α	<i>Angulo de inclinación</i>	-	45	45
Lb	<i>Longitud de las barras</i>	m	0.0214	0.0200
Al	<i>Área transversal de flujo en las rejas</i>	m ²	0.0147	0.0150
Vc	<i>Velocidad de flujo en las rejas</i>	m/s	0.5926	0.57
hf	<i>Pérdida de carga en las rejas</i>	m	0.0139	0.015
hs	<i>Tirante líquido en el canal de salida</i>	m	0.0126	0.013

Fuente: Elaboración propia

4.2.1. Analisis y discusión

- Aunque el número de barras recomendado es de 26 y en el momento existen 32 unidades, no hay ninguna falencia en este punto ya que cumple a cabalidad la función de retener los sólidos gruesos

- En la evaluación efectuada se concluyó que el canal de entrada y la rejilla tienen capacidad para conducir el caudal máximo horario, pero falta construirle el vertedero de excesos y la tubería de excesos, de acuerdo con lo establecido en el RAS 2000 (RAS 2000, TITULO A, página 57)
- También le falta una plataforma para el secado del material extraído de la rejilla, por lo tanto, estos aspectos son abordados y deben incluirse en cualquier diseño, como parámetro de diseño para darle un manejo adecuado a los residuos sólidos extraídos en este proceso.
- La limpieza de las rejillas se realiza manualmente, las condiciones que establece en RAS 2000, en donde la velocidad de aproximación a las rejillas debe estar entre 0.3 y 0.6 m/s para rejillas limpiadas manualmente (RAS 2000, TITULO A, página 57) se cumple como se observa en los resultados de la *tabla 4-2*.
- En la separación entre barras, Se recomienda un espaciamiento de 15 a 50 mm para rejillas limpiadas manualmente, (RAS 2000, TITULO A, página 57) el parámetro se encuentra en el rango óptimo de diseño, como se observa en la *tabla 4-2*
- De acuerdo con los parámetros mínimos de diseño establecidos en el RAS 2000, (RAS 2000, TITULO A, página 57), el diseño del sistema de cribado es acorde y cumple, como se muestra en la *tabla 4-3*.

Tabla 4-3 Parámetros mínimos de diseño

REQUISITOS MINIMOS DE DISEÑO			
	RAS	Existente	Proyectado
REJILLAS	<ul style="list-style-type: none"> • Deben colocarse aguas arriba de cualquier dispositivo de tratamiento subsecuente que sea susceptible de obstruirse 	<ul style="list-style-type: none"> • Deben colocarse aguas arriba de cualquier dispositivo de tratamiento subsecuente que sea susceptible de obstruirse 	<ul style="list-style-type: none"> • Deben colocarse aguas arriba de cualquier dispositivo de tratamiento subsecuente que sea susceptible de obstruirse

<ul style="list-style-type: none"> • Rejillas Gruesas cuando los barrotes distan entre sí de 4 a 10 cm, Medias de 2 > 4 cm, Finas 1 > 2 cm. • Velocidad máxima de aproximación: Caudal Máximo: 1.2 m/s Caudal mínimo • Limpieza: Manual. Mecánico solo para caudales medios de diseño, iguales o superiores a 100 l/s. (Resolución 0330 2017 Artículo 186. Pág. 116) 	<ul style="list-style-type: none"> • Distancia: 0.04 m • Velocidad máxima de aproximación: 1.1 m/s • Limpieza manual: Caudal medio de diseño: 9.80 l/s 	<ul style="list-style-type: none"> • Distancia: 0.03 m • Velocidad máxima de aproximación: 1.1 m/s • Limpieza Manual: Caudal medio de diseño: 8.73 l/s
---	---	---

Fuente: Elaboración propia

4.3. Canaleta Parshall

La canaleta Parshall permite la medición de caudales, principalmente en canales. Es un sistema muy práctico debido a su sencillez de construcción y de operación, ya que se trata de un elemento de proporciones estandarizadas; con una o dos lecturas de niveles, es posible obtener caudal, existe gran variedad de materiales de construcción de medidor, como por ejemplo concreto, mampostería, acrílico y materiales sintéticos, los cálculos realizados para verificación del parámetro de diseño fueron los siguientes:

- Altura del agua en la sección de medición (h_1), mediante la **ecuación 2.20.**, los datos consignados en la **tabla 2.9.** para la canaleta de 3" se realizó el cálculo de la siguiente forma:

$$h_1 = 3,704 * 0.009 \frac{m^3}{s}^{0.646}$$

$$h_1 = 0.17 \text{ m}$$

- Ancho de la canaleta en la sección media (W_1), mediante la **ecuación 2.21**. los datos consignados en la **tabla 2.8**. para el ancho de la canaleta de 3" se realizó el cálculo de la siguiente forma:

$$W_1 = \frac{2}{3}(0.457\text{m} - 0.076\text{m}) + 0.076\text{m}$$

$$W_1 = 0.33 \text{ m}$$

- Velocidad del agua en la sección de medición (V_1), mediante la **ecuación 2.22**. los datos de la **tabla 4.1**. y **la tabla 2.8**. se realizó el cálculo de la siguiente forma:

$$V_1 = \frac{0.009 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.457 \text{ m} * 0.17 \text{ m}}$$

$$V_1 = 0.15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Caudal específico en la garganta de la canaleta (q) mediante la **ecuación 2.23**. los datos consignados en la **tabla 4.1** y **la tabla 2.8**. se realizó el cálculo de la siguiente forma:

$$q = \frac{0.009 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.076 \text{ m}}$$

$$q = 0.11$$

- Carga hidráulica total disponible (E), mediante la **ecuación 2.24**. el dato obtenido en el numeral de la velocidad en la sección de medición, la **tabla 2.8**. y el dato de la gravedad (9.806 m/s^2) se realizó el cálculo de la siguiente forma:

$$E = \frac{(0.15 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9.806 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 0.17\text{m} + 0.229\text{m}$$

$$E = 0.40 \text{ m}$$

- Velocidad del agua antes del resalto (V_2), mediante la **ecuación 2.25**. el dato obtenido en el numeral anterior y el dato de la gravedad (9.806 m/s^2) se realizó el cálculo de la siguiente forma:

$$V_2 = 2 * \frac{2(9.806 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) * 0.40\text{m}^{0,5}}{3} * \cos \frac{-0.26}{3}$$

$$V_2 = 2.29 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Altura antes del agua antes del resalto (h_2), mediante la **ecuación 2.26**. el dato obtenido en el numeral anterior y el dato del numeral de (q) se realizó el cálculo de la siguiente forma:

$$h_2 = \frac{0.11}{2.29}$$

$$h_2 = 0.05 \text{ m}$$

- Numero de froude (F), mediante la **ecuación 2.27**. el dato del numeral anterior y el dato del numeral de (V_2) se realizó el cálculo de la siguiente forma:

$$F = \frac{(2.29 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{\sqrt{0.05 \text{ m} * 9.806 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$$

$$F = 3.26$$

- Altura del resalto (h_3), mediante la **ecuación 2.28**. el dato obtenido en el numeral anterior y el dato obtenido en el numeral del (h_2) se realizó el cálculo de la siguiente forma:

$$h_3 = \frac{0.05\text{m}}{2} * \sqrt{1 + 8(3.26)^2} - 1$$

$$h_3 = 0.21\text{m}$$

- Velocidad en el resalto (V_3), mediante la **ecuación 2.29**. el dato de la **tabla 4.1**. y de **la tabla 2.8**. se realizó el cálculo de la siguiente forma:

$$V_3 = \frac{0.009 \frac{m^3}{s}}{0.076m * 0.21m}$$

$$V_3 = 0.55 \frac{m}{s}$$

- Altura lámina de agua al final de la canaleta (h_4), mediante la **ecuación 2.30**. el dato obtenido en el numeral (h_3) y los valores de la **tabla 2.8**. se realizó el cálculo de la siguiente forma:

$$h_4 = 0.21m - (0.229m - 0.057m)$$

$$h_4 = 0.04 m$$

- Velocidad en la sección de salida (V_4), mediante la **ecuación 2.31**. el valor de la **tabla 4.1**. se realizó el cálculo de la siguiente forma:

$$V_4 = \frac{0.009 \frac{m^3}{s}}{1.22m * 0.04m}$$

$$V_4 = 0.94 \frac{m^2}{s}$$

- Perdida de carga en el resalto (h_f), mediante la **ecuación 2.32**. el dato de la **tabla 2.8**. y el dato del numeral (h_4) se realizó el cálculo de la siguiente forma:

$$h_f = 0.17m + 0.057m - 0.04m$$

$$h_f = 0.19m$$

En la *tabla 4-4*. se tienen los resultados de los cálculos realizados para observar las condiciones de la canaleta Parshall, para poder realizar un debido diagnóstico:

Tabla 4-4 Resultados Canaleta Parshall

	Descripción	Unid	Proyectado	Existente
h1	Altura del agua en la sección de medición	m	0.17	0.17
W1	Ancho en la sección de medición	m	0.33	0.32
V1	Velocidad del agua en la sección de medición	m/s	0.15	0.15
E	Energía total disponible	m	0.40	0.39
Q	Caudal específico en la garganta de la canaleta	m ³ /s/m	0.11	0.11
V2	Velocidad antes del resalto	m/s	2.29	2.28
h2	altura del agua antes del resalto	m	0.05	0.06
F	Numero de Froude		3.26	3.28
h3	altura del resalto	m	0.21	0.22
V3	velocidad en el resalto	m/s	0.55	0.59
h4	altura en la sección de salida de la canaleta	m	0.04	0.07
V4	Velocidad en la sección de salida	m/s	0.94	0.90
hf	perdida en la carga del resalto	m	0.19	0.18

Fuente: Elaboración propia

4.3.1. Analisis y Discusión

- Podemos decir que la canaleta Parshall tiene la capacidad suficiente para la caudal como se demuestra en la *tabla 2-7*, que está ingresando en este momento como se reporta en la *tabla 4-1*, de acuerdo con lo establecido en el RAS 2000, acorde a el ancho de garganta.
- Como se muestra en la *tabla 4-4*, la diferencia en los resultados obtenidos no varía demasiado ya que al ser esta una unidad de medición con medidas estándar cumple con las condiciones necesarias.

4.4. Desarenador

A continuación, se muestran todos los cálculos realizados para la determinación del diagnóstico del desarenador de la PTAR del municipio de granada, según los parámetros de diseño mencionados en el **numeral 2.22**. establecidos por RAS 2000:

- Caudal mínimo por unidades (Q_{min}) mediante la **ecuación 2.33**. el dato obtenido en la **tabla 4.1**. se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$Q_{min} = \frac{0.009 \text{ m}^3/\text{s}}{2}$$
$$Q_{min} = 0.0045$$

- Velocidad critica de arrastre (Va) mediante la **ecuación 2.34**. se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$Va = \frac{160.56 * (0.05^{0,5})}{100}$$

$$Va = 0.36$$

- Área Transversal (At): mediante la **ecuación 2.35**. el dato obtenido de la **tabla 4.1**. se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$At = \frac{0.009}{0.11}$$

$$At = 0.081$$

- Área superficial (As): mediante la **ecuación 2.36**. el dato obtenido de la **tabla 4.1**. se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$As = \frac{0.009}{5.3}$$

$$As = 0.002$$

- Ancho del desarenador (B): mediante la **ecuación 2.37**. el dato obtenido en el numeral (**At**) se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$B = \frac{(2 * 0.079)^{0,5}}{2}$$

$$B = 0.20$$

- Longitud total (L): mediante la **ecuación 2.38**. el dato obtenido en el numeral anterior y numeral (**As**) se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$L = \frac{0.002}{(2 * 0.20)}$$

$$L = 0.004$$

- Altura útil máxima (hmax): mediante la **ecuación 2.39**. el dato obtenido en el numeral (**Qmax**), el numeral (**Va**) y el numeral (**B**) se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$hmax = \frac{0,004}{(0.36 * 0.20)}$$

$$hmax = 0.061$$

- Altura útil mínima (hmin): mediante la **ecuación 2.40**. el dato obtenido en el numeral (**Qmin**), el numeral (**Va**) y el numeral (**B**) se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$hmin = \frac{0.003}{(0.36 * 0.20)}$$

$$hmin = 0.037$$

- Altura total (H): mediante la **ecuación 2.41**. el dato obtenido en el numeral (**hmax**), se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$H = 0.061 + 0.3$$

$$H = 0.36$$

- Longitud canal de transición (α): mediante la **ecuación 2.42**. el dato obtenido en el numeral (**b**) y en el numeral (**B**), se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$\alpha = \frac{0.20 - 0.05}{2 * \text{Tan}(0.21)}$$

$$\alpha = 0.21$$

- Tiempo de retención (Ts): mediante la **ecuación 2.43**. el dato obtenido en el numeral (**H**) y el numeral (**H**), se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$T_s = \frac{0.36}{5.3}$$

$$T_s = 0.07$$

- Longitud del canal en transición (Ltr): mediante la **ecuación 2.44**. el dato obtenido en el numeral (**B**) el numeral (**b**) y el numeral (**α**) se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$L_{tr} = \frac{0.20 - 0.5}{2 * \text{Tan}(0.21)}$$

$$L_{tr} = 0.15$$

- Tiempo de recorrido (Tr): mediante la **ecuación 2.45**. el dato obtenido en el numeral (**hmax**), se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$T_r = \frac{(0.20 * 0.15 * 0.36)}{0.004}$$

$$T_r = 2.40$$

En la **tabla 4-5**. se tienen los resultados de los cálculos realizados para observar las condiciones del desarenador para poder realizar un debido diagnóstico:

Tabla 4-5 Resultados Sistema Desarenador

	<i>Descripción</i>	<i>Unid</i>	<i>Proyectado</i>	<i>Existente</i>
QDT	<i>Caudal de diseño</i>	m ³ /s	0.009	0.010
QMD	<i>Caudal Mínimo</i>	m ³ /s	0.005	0.007
n	<i>Número de unidades</i>	und	2	2
Qmin	<i>Caudal mínimo por unidades</i>	m ³ /s	0.003	0.004
Qmax	<i>Caudal máximo por unidad</i>	m ³ /s	0.004	0.003
d	<i>Diámetro de partícula a remover</i>	cm	0.05	0.06
b	<i>Ancho del canal de entrada</i>	m	0.5	0.5
Vs	<i>Velocidad de sedimentación</i>	m/s	5.3	5.5
Va	<i>Velocidad critica de arrastre</i>	m/s	0.36	0.38
Vh	<i>Velocidad horizontal</i>	m/s	0.11	0.10
At	<i>Área Transversal</i>	m ²	0.079	0.08
As	<i>Área superficial</i>	m ²	0.002	0.003
B	<i>Ancho del desarenador</i>	m	0.20	0.2
L	<i>Longitud total</i>	m	0.004	0.003
hmax	<i>Altura útil máxima</i>	m	0.061	0.06
hmin	<i>altura útil mínima</i>	m	0.037	0.03
H	<i>altura total</i>	m	0.36	0.4
a	<i>Angulo de ingreso al desarenador</i>	rad	0.21	0.3
Ltr	<i>longitud canal de transición</i>	m	0.15	0.14
Ts	<i>Tiempo de retención</i>	s	0.07	0.08
Tr	<i>Tiempo de recorrido</i>	s	2.40	2.4

Fuente: Elaboración propia

4.4.1. Analisis y discusión.

- Según lo recomendado en los parámetros mínimos de diseño del RAS 2000 *numeral 2.21*, la velocidad de horizontal está por encima, pero no afecta en nada el proceso que se realiza.
- Revisando los datos obtenidos, existe una diferencia entre algunos de los parámetros, pero la diferencia no es significativa ya que puede ser por aproximación a los datos procesados, en general el diseño cumple con las recomendaciones del diseño como se evidencia en la *tabla 4-6*.

Tabla 4-6 Parámetros mínimos de Diseño desarenador

PARAMETROS MINIMOS DE DISEÑO			
DESARENADOR	RAS	Actualidad	Proyectado
		<ul style="list-style-type: none"> • Deben localizarse después de las rejillas, y antes de los tanques de sedimentación primaria y las estaciones de bombeo; lo último cuando sea posible. • Diseño: Desarenadores de velocidad constante y flujo transversal: Eliminación de partículas con diámetro mínimo de 0,3 mm, Velocidad destacarían de 0,03 m/s, buscando velocidad horizontal de 0,3 m/s. • Para garantizar la velocidad constante es necesario: 1. Planear estructuras de salida tipo vertedero Sutro, vertedero proporcional, secciones parabólicas, etc., las cuales deben ser prefabricadas para garantizar su precisión, 2. Utilizar materiales resistentes al agua residual. Las estructuras de desarenado deberán contar con sistemas hidráulicos de evacuación de lodos. • La norma exige construir un mínimo de dos unidades. Cada unidad debe tener la capacidad para 	<ul style="list-style-type: none"> • Localización: después de canaleta y antes de UASB • Velocidad Horizontal: 0.11 m/s • Unidades disponibles: 2

operar con los caudales de diseño cuando la otra unidad esté en limpieza.		
---	--	--

Resolución 0330 2017, Pág. 117		
--------------------------------	--	--

Fuente: Elaboración propia

4.5. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB)

A continuación, se muestran todos los cálculos realizados para la determinación del diagnóstico del UASB de la PTAR del municipio de granada, según los parámetros de diseño mencionados en el **numeral 2.22.** establecidos por RAS 2000:

- Volumen del reactor (V_R) mediante la **ecuación 2.46.** el dato obtenido **tabla 4.1.**, se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$V_R = 21,600 * 8.73$$

$$V_R = 188.568$$

- Área del reactor (A): mediante la **ecuación 2.47.** el dato obtenido en el numeral anterior, se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$A = \frac{188.568}{4.5}$$

$$A = 41.904$$

- Longitud 2 (L_2): mediante la **ecuación 2.48.**, el dato obtenido en el numeral anterior, se realiza el cálculo de la siguiente forma

$$L_2 = \frac{41.904}{4.5}$$

$$L_2 = 9.3$$

- Longitud 3 (L_3): mediante la **ecuación 2.49.** el dato obtenido en el numeral (V_R) y el numeral (L_1), se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$L_3 = \frac{188.568}{9.31}$$

$$L_3 = 4.40$$

- Flujo másico (F_m): mediante la **ecuación 2.50**. el dato obtenido en el numeral (V_R) y el numeral (L_1), se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$F_m = 188.568 R \times 0.94$$

$$F_m = 177.2539$$

- Carga hidráulica (C_H): mediante la **ecuación 2.51**. el dato obtenido en el numeral (A_R) y la **tabla 4.1.**, se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$C_H = \frac{0.00873}{41.904^2}$$

$$C_H = 0.00021$$

- Velocidad en flujo en la campana: mediante la **ecuación 2.52**. el dato obtenido en el numeral anterior se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$V_F = 4 (0.00021)$$

$$V_F = 0.00084$$

Tabla 4-7 Resultados UASB Proyectado

	Descripción	Unidad	Proyectado	Existente
Q	Caudal	l/s	8.73	9.80
THR	Tiempo Hidráulico de Retención	h	6	6
L	Altura UASB	m	4	4
L1	Longitud efectiva	m	4.5	4.5
C.O.	Carga orgánica	KgDQO/m3*d	0.94	0.94
[] BO5 _{Aflu}	Concentración DBO5 afluente	mg/l	123	123
[] DQO _{Aflu}	Concentración DQO afluente	mg/l	235	235
	Coef. Salida		0.21	0.22
K	K	CH4-DQO/mol	64	65
R	R	Atm*l/mol*°k	0.08206	0.08
T	Temperatura Grados Celsius	°C	24	24
°K	Temperatura Grados Kelvin	°K	297	297

P	Presión Atmosférica	Atm	0.7	0.7
	Producción Biogás	Biogás CH4	0.75	0.8
V	Volumen del reactor	m	188.568	188.5
A	Área del reactor	m	41.904	41.8
L2	Longitud Efectiva	m	9,11	9.1
L3	Longitud Efectiva	m	4.50	4.5
FM	Flujo masico	KgDQO/d	177.25392	178.5
C _H	Carga hidráulica	m/s - m/h	0.00021	0.0002
V _F	Velocidad de flujo en la campana	m/h	0.00084	0.0008

Fuente: Elaboración propia

4.5.1. Analisis y discusión:

- El UASB tiene la capacidad de tratar el caudal de agua que llega a la PTAR, aunque en el momento de una visita en campo, se observó que la turbiedad con la que salía el agua de esta unidad era mayor, suponiendo que no se realiza la purga en el momento adecuado, ocasionando que el manto de lodo joven no está realizando el proceso, ocasionando que este mismo se arrastre en el proceso.

Tabla 4-8 Parámetros mínimos de Diseño UASB

PARAMETROS MINIMOS DE DISEÑO			
	RAS	Actualidad	Proyectado
UASB (Upflow Anaerobic Sluge Blanket)	<ul style="list-style-type: none"> • El agua residual doméstica, proveniente de un tratamiento preliminar, de rejillas, desarenado y trampa de grasas, debe entrar al reactor por el fondo y fluir hacia la parte superior, manteniendo en pulsación el manto de lodos granular. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rejillas, desarenador 	<ul style="list-style-type: none"> • Rejillas, desarenador
	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de alimentación de reactor para velocidad ascendente uniforme entre 0,8 y 1,0 m/h. La profundidad del tanque debe estar entre 4,5 m y 6 m. En la parte superior del 	<ul style="list-style-type: none"> • Profundidad de 4.5 m 	<ul style="list-style-type: none"> •

<p>tanque, cubriendo la superficie, debe disponerse una estructura de recolección de gas y separación de sólidos (SGSL), con el fin de que sean retornados al interior del reactor.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recolección del agua tratada, se debe contar con una canaleta transversal. <p>Resolución 0330 2017 Artículo 175. Pág. 109</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Canaleta Transversal 	<ul style="list-style-type: none"> • Canaleta Transversal
---	--	--

Fuente: Elaboración propia

4.6. Filtro Anaerobio de Flujo ascendente (FAFA)

A continuación, se muestran todos los cálculos realizados para la determinación del diagnóstico del FAFA de la PTAR del municipio de granada, según los parámetros de diseño mencionados en el **numeral 2.23**, establecidos por RAS 2000

- Volumen por compartimento: mediante la **ecuación 2.52** y los datos consignados en la **tabla 3-6**, se realizó el cálculo de la siguiente forma:

$$Vol = 4m * 4m * 1,8m$$

$$Vol = 28.8m^3$$

- **Volumen unidad:** mediante la **ecuación 2.53** y los datos consignados en la **tabla 3-6**, se realizó el cálculo de la siguiente forma:

$$Vol T = 28.8m^3 * 2$$

$$Vol T = 57.6 m^3$$

- **Tiempo hidráulico de retención:** mediante la **ecuación 2.54** y los datos consignados en la **tabla 3-6**, se realizó el cálculo de la siguiente forma:

$$THR = \frac{57.6 m^3}{10.8 m^3/h}$$

$$THR = 5.33 h$$

4.7. Manejo de lodos y lechos de secado

Los lechos de secado son generalmente el método más simple y económico de deshidratar los lodos estabilizados, Los lodos que se generan en los diferentes procesos de la PTAR se tratan en un lecho de secado. El área existente de lechos es de solo 40 m². Los requisitos de área de los lechos de secado se determinan adoptando una profundidad de aplicación entre 20 y 40 cm y calculando el número de aplicaciones por año. Para el efecto se debe tener en cuenta los siguientes períodos de operación:

- Período de aplicación: 4 a 6 horas;
- Período de secado: entre 3 y 4 semanas
- Período de remoción del lodo seco: entre 1 y 2 semanas para instalaciones con limpieza manual.

El medio de drenaje es de 0.7 m de espesor y tiene los siguientes componentes:

El medio de soporte está constituido por una capa formada por ladrillos colocados sobre el medio filtrante, con una separación de 2 a 3 cm. llena de arena. La arena es el medio filtrante y tendrá un tamaño efectivo de 0,3 a 1,3mm., y un coeficiente de uniformidad entre 2 y 5. Debajo de la arena se debe colocar un estrato de grava graduada. En este diseño los lechos de secado son lechos de 15 a 30 cm de arena que descansa sobre capas de 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 grava de 30 cm.

Las paredes laterales y divisorias de los lechos de secado se elevan unos 60 cm por encima de la superficie de arena y el fondo tendrá una ligera pendiente hacia los tubos de drenaje. Los drenes están constituidos por tubos de 100 mm. De diámetro instalados debajo de la grava

Para el funcionamiento de los lechos de secado se distribuyen los lodos en capas de 15 a 20 cm de espesor. Se produce una pérdida de agua por evaporación y la otra parte es conducida al cuerpo receptor. El lodo seco es inofensivo y puede utilizarse para rellenar depresiones del terreno o como fertilizante.

4.7.1. Análisis y discusión:

- El manejo y la disposición de los lodos tratados se realiza de la forma adecuada, se disponen en un lugar para recuperación de cobertura vegetal sin ocasionar ningún inconveniente por su composición
- El volumen de los lechos es acorde a la cantidad de residuos recolectado y el proceso de secado en el tiempo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Aunque el número de barras recomendado es de 26 y en el momento existen 32 unidades, no hay ninguna falencia en este punto ya que cumple a cabalidad la función de retener los sólidos gruesos
- En la evaluación efectuada se concluyó que el canal de entrada y la rejilla tienen capacidad para conducir el caudal máximo horario, pero falta construirle el vertedero de excesos y la tubería de excesos, de acuerdo con lo establecido en el RAS 2000 (RAS 2000, TITULO A, página 57)
- También le falta una plataforma para el secado del material extraído de la rejilla, por lo tanto, estos aspectos son abordados y deben incluirse en cualquier diseño, como parámetro de diseño para darle un manejo adecuado a los residuos sólidos extraídos en este proceso.
- La limpieza de las rejillas se realiza manualmente, las condiciones que establece en RAS 2000, en donde la velocidad de aproximación a las rejillas debe estar entre 0.3 y 0.6 m/s para rejillas limpiadas manualmente (RAS 2000, TITULO A, página 57) se cumple como se observa en los resultados de la *tabla 4-2*.
- En la separación entre barras, Se recomienda un espaciamiento de 15 a 50 mm para rejillas limpiadas manualmente, (RAS 2000, TITULO A, página 57) el parámetro se encuentra en el rango óptimo de diseño, como se observa en la *tabla 4-2*
- De acuerdo con los parámetros mínimos de diseño establecidos en el RAS 2000, (RAS 2000, TITULO A, página 57), el diseño del sistema de cribado es acorde y cumple, como se muestra en la *tabla 4-3*.
- Podemos decir que la canaleta Parshall tiene la capacidad suficiente para la caudal como se demuestra en la *tabla 2-7*, que está ingresando en este momento como se reporta en la *tabla 4-1*, de acuerdo con lo establecido en el RAS 2000, acorde a el ancho de garganta.
- Como se muestra en la *tabla 4-4*, la diferencia en los resultados obtenidos no varía demasiado ya que al ser esta una unidad de medición con medidas estándar cumple con las condiciones necesarias.

- Según lo recomendado en los parámetros mínimos de diseño del RAS 2000 *numeral 2.21*, la velocidad de horizontal está por encima, pero no afecta en nada el proceso que se realiza.
- Revisando los datos obtenidos, existe una diferencia entre algunos de los parámetros, pero la diferencia no es significativa ya que puede ser por aproximación a los datos procesados, en general el diseño cumple con las recomendaciones del diseño como se evidencia en la *tabla 4-6*.
- La PTAR no cuenta en el momento con un cercado perimetral, aunque esto no se relaciona en el diseño
- El manejo y la disposición de los lodos tratados se realiza de la forma adecuada, se disponen en un lugar para recuperación de cobertura vegetal sin ocasionar ningún inconveniente por su composición
- El volumen de los lechos es acorde a la cantidad de residuos recolectado y el proceso de secado en el tiempo

6. BIBLIOGRAFIA

- Alcaldía municipal de Granada. (2017). *Revisión y ajuste general de Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Granada del Departamento de Cundinamarca con enfoque regional*. (C. d. 2016, Ed.) Granada, Cundinamarca, Colombia.
- Corcho Romero, F. H. (1993). *Acueductos Teoría y Diseño*. Medellín : Universidad de Medellín.
- Knobelsdorf, M. Juliana. (2005). *Eliminación biológica de nutrientes en un ARU de baja carga*. España.: Universidad Politécnica de
- Básico, M. d. (s.f.). *DOCUMENTACIÓN TÉCNICO NORMATIVA DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO*. Obtenido de TITULO A: http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_a_.pdf
- Alex Guillermo Villacis Proaño. (2011). TESIS “Estudio de un Sistema de Depuración de Aguas Residuales para reducir la contaminación de Río Ambato y los sectores aledaños en el sector de Pisocucho Izamba, del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua". Recuperado el Diciembre de 2017, de <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/1350>
- Ministro de Vivienda, C. y. (s.f.). *Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias*. Obtenido de TÍTULO D : http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO_D.pdf
- ROJAS, J. A. (2004). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Teoría y principios de diseño*. Tercera, febrero. .
- Cualla, R. A. (2003). *ELEMENTOS DE DISEÑO* Alasino, Universidad del Litoral .
(2009). *SÍNTESIS Y DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Santa Fe

METCALF, & E. (s.f.). Ingeniería de Aguas Residuales (Tercera ed., Vol. 1). McGraw-Hill.