

Diseño de una planta de Tratamiento de aguas residuales (PTAR)



EVALUACION DE LAS CONDICIONES ACTUALES Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) PARA EL MUNICIPIO DE TOCAIMA
CUNDINAMARCA

JULIAN RODRIGO MORA PINEDA

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

noviembre de 2020

Diseño de una planta de Tratamiento de aguas residuales (PTAR)

EVALUACION DE LAS CONDICIONES ACTUALES Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) PARA EL MUNICIPIO DE TOCAIMA
CUNDINAMARCA

JULIAN RODRIGO MORA PINEDA

Monografía presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor(a)
Ingeniero Julián Fernando Grimaldo
Ingeniero Civil

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

noviembre de 2020

Contenido

1	Resumen	8
2	Abstract.....	9
3	Introducción.....	10
4	Planteamiento del problema	11
5	Justificación.....	13
6	Objetivos.....	14
6.1	Objetivo General.....	14
6.2	Objetivos Específicos:	14
7	Marco de Teórico.....	15
7.1	Marco Geográfico:	17
7.2	Marco Legal.....	21
7.3	Marco ambiental.....	23
7.3.1	Aspectos Ambientales.....	24
	• Pisos térmicos	24
	• Hidrografía	24
	• Corrientes y cuerpos de agua superficiales ríos, quebradas, cañadas, lagunas y humedales....	24
	• Nacederos	25
	• Contaminación ambiental.....	25
	• Relieve.....	25
	• Orografía	25
	• Vegetación y fauna.....	25
	• Extracción de minerales.....	26

•	Economía: Por más de 350 años Tocaima fue el mayor centro de la provincia en gobierno, población, servicios sociales, economía, turismo, comercio y producción agropecuaria. Actualmente el primer renglón de economía es la agricultura, seguido del Turismo.	26
8	Metodología.....	27
9	Diseño de la Plata de Tratamiento de Aguas residuales (PTAR).....	28
9.1	Datos de población y Caudales del Municipio	28
9.2	Análisis Hidráulico.....	30
9.3	PTAR.....	30
9.3.1	Reconocimiento del sitio de la PTAR	32
9.3.2	Levantamientos Topográficos.....	32
9.3.3	Posicionamiento de Placas con GPS.....	33
	Análisis y Resultados Geotécnicos Zonas de Corredores para Emisarios	36
9.4	DISEÑO DE DETALLE DEL INTERCEPTOR.....	43
9.5	DISEÑO HIDRÁULICO Y GEOMÉTRICO.....	43
9.5.1	Proyecciones de Caudales para Colectores e Interceptores.....	44
9.6	DISEÑO DE POZOS DE INSPECCION.....	50
9.7	DISEÑO DE CONEXIONES DOMICILIARIAS.....	56
9.8	DISEÑO DE PROCESOS.....	59
9.9	Desinfeccion.....	77
9.9.1	Aforo del efluente	78
9.9.2	Sistema de dosificacion del desinfectante.....	78
9.9.3	Equipos Para Automatización Dosificación Cloro	79
9.10	Presupuesto	79
10	Conclusión.....	82
11	Referencias Bibliográficas.....	83
	Anexos	84

Lista de Figuras

1. Ilustraciones 1; Localización Municipio de Tocaima
2. Ilustraciones2: Localización de Obra
3. Ilustraciones 3: Panorámica del predio seleccionado para la construcción de la PTAR
4. Ilustraciones4: Panorámica del predio seleccionado para la construcción de la PTAR
5. Ilustraciones 5: Localización del interceptor paralelo a la línea férrea
6. Ilustraciones 6: Interceptor sobre la vía Tocaima – Agua de Dios
7. Ilustraciones 7: Llegada al sitio de la PTAR
8. Ilustraciones 8: Panorámica de predio seleccionado para la construcción de la PTAR
9. Ilustraciones 9: Localización zonas de canteras en Mondoñedo
10. Ilustraciones 10: Base y cañuela pozos de inspección alturas menores o iguales 4 m
- 11.** Ilustraciones 11: Armadura Losa Cubierta
12. Ilustraciones 12: Pozos de inspección alturas entre 4 y 7 metros
13. Ilustraciones 13: Planta de Pozos de inspección alturas entre 4 y 7 metros
14. Ilustraciones 14: Detalle de conexiones domiciliarias

Lista de Tablas

1. Interceptores
2. Caudal total calculado para todos los colectores e interceptores del proyecto
3. Características de obras diseñadas
4. Proyecciones de Población y Caudales
5. Características de los colectores y del interceptor
6. Áreas y caudales de diseño
7. Proyecciones de Caudales Totales para Colectores e Interceptores Metodología RAS 2000
8. Proyecciones de Caudales Totales para Interceptores, Colectores y Emisarios Finales Contrato 0559- 07 (COA 5824)
9. Proyecciones de Caudales para la PTAR Contrato 543 -2010
10. Proyecciones de Caudales de Estructuras de Entrada, Interconexión y Salida de la PTAR
11. Parámetros
12. Características Hidráulicas de colectores e interceptor
13. Características geométricas del diseño
14. Características geométricas del diseño
15. Características geométricas del diseño de colectores e interceptor
16. Datos de Diseño de la PTAR
17. cuadro se relacionan las operaciones unitarias de la PTAR y el número de unidades a implementar en cada etapa de tratamiento
18. Diseño De Desarenador

19. Perdida de tubería

20. Ciclos de Bombeo estimados (Se ajustan en la operación

21. Longitud equivalente tubería de bombeo de lodos

22. Presupuesto

23. Presupuesto detallado PTAR actual Tocaima – Etapa I año 2035

1 Resumen

Tocaima pertenece a la cuenca del Río Bogotá, con excepción de las quebradas Grande y el Tabaco y sus afluentes al norte en Copó, que vierten sus aguas por medio del Río Seco al río Magdalena. El territorio municipal de Tocaima presenta gran número de fuentes hídricas superficiales menores, las cuales son utilizadas para el suministro de agua a las comunidades rurales, abrevaderos, recreación y por su tradición como ciudad salud en tratamientos terapéuticos, Plan de desarrollo Futuro en Marcha. (2020)

Todas estas características hacen crecer el municipio turísticamente y a su vez la preocupación sobre el manejo de las aguas residuales del municipio, las cuales desembocan en el río Bogotá, y terminan en el Río Magdalena, lo que genera un alto contaminante en los ríos, de los cuales también se toma el agua para consumo humano.

Desde la administración pasada se está evaluando el tema de hacer una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), ahora en esta administración uno de mis proyectos bandera es la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), proyecto aprobado por el concejo municipal, la localización diseño quedaron aprobados por la CAR.

Palabras clave: Hidrografía, Presupuesto, medio ambiente, Diseño

2 Abstract

Tocaima belongs to the Bogotá River basin, with the exception of the Grande and Tabaco streams and their tributaries to the north in Copó, which discharge their waters through the Seco River to the Magdalena River. The municipal territory of Tocaima has a large number of minor surface water sources, which are used to supply water to rural communities, drinking troughs, recreation and due to its tradition as a health city in therapeutic treatments. Future development plan in progress. (2020)

All these characteristics make the municipality grow touristically and in turn concern about the management of the municipality's wastewater, which flows into the Bogotá river, and ends up in the Magdalena River, which generates a high pollutant in the rivers, of the which water is also taken for human consumption.

Since the last administration, the issue of making a wastewater treatment plant (PTAR) is being evaluated, now in this administration one of my flagship projects is the wastewater treatment plant (PTAR), a project approved by the municipal council, the design location were approved by the CAR.

Keywords: Hydrography, Budget, Environment, Design

3 Introducción

Tocaima fue fundada en el centro de la población Panche, en los dominios de la tribu Guacaná, por el mariscal Hernán Venegas Carrillo, el 20 de marzo de 1544, bajo el nombre de San Dionisio de los Caballeros de Tocaima. Fue una de las ciudades más importantes del virreinato de la Nueva Granada. El Tiempo (16 marzo 1996).

Limita con los municipios de: Girardot por el occidente, Nariño y Jerusalén por el noroeste, Apulo por el oriente y norte, Viotá por el oriente, Nilo y Agua de Dios por el sur

Tocaima pertenece a la cuenca del Río Bogotá, con excepción de las quebradas Grande y el Tabaco y sus afluentes al norte en Copó, que vierten sus aguas por medio del Río Seco al río Magdalena. El territorio municipal de Tocaima presenta gran número de fuentes hídricas superficiales menores, las cuales son utilizadas para el suministro de agua a las comunidades rurales, abrevaderos, recreación y por su tradición como ciudad salud en tratamientos terapéuticos. Plan de desarrollo Futuro en Marcha. (2020)

Todas estas características hacen crecer el municipio turísticamente y a su vez la preocupación sobre el manejo de las aguas residuales del municipio, las cuales desembocan en el río Bogotá, y terminan en el Río Magdalena, lo que genera un alto contaminante en los ríos, de los cuales también se toma el agua para consumo humano.

Desde la administración pasada se está evaluando el tema de hacer una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), ahora en esta administración uno de mis proyectos bandera es la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), proyecto aprobado por el concejo municipal, la localización diseño quedaron aprobados por la CAR.

4 Planteamiento del problema

Este municipio ubicado en la parte sur oeste de Cundinamarca se caracteriza por su clima tropical seco. Por naturaleza e historia, sus aguas azufradas, es llamada la ciudad salud, cuenta con importantes sitios turísticos como son el Museo Arqueológico de Pubenza, el Cerro Guacana, la Piedra de Partos y Chucuil, la Cascada Azul, el Parque Temático Lindayma, El Puente de los Suspiros, Hotel Catárnica, La hacienda El Peñón, Los Posos milagrosos de Santa Lucia, el mirador hacia los nevados, la laguna azul en Copo, Piedras Negras en Pubenza, el alto se San Raimundo y próximamente el Jardín Botánico.

Tocaima pertenece a la cuenca del Río Bogotá, con excepción de las quebradas Grande y el Tabaco y sus afluentes al norte en Copó, que vierten sus aguas por medio del Río Seco al río Magdalena. El territorio municipal de Tocaima presenta gran número de fuentes hídricas superficiales menores, las cuales son utilizadas para el suministro de agua a las comunidades rurales, abrevaderos, recreación y por su tradición como ciudad salud en tratamientos terapéuticos. Plan de desarrollo Futuro en Marcha. (2020)

Todas estas características hacen crecer el municipio turísticamente y a su vez la preocupación sobre el manejo de las aguas residuales del municipio, las cuales desembocan en el río Bogotá, y terminan en el Río Magdalena, lo que genera un alto contaminante en los ríos, de los cuales también se toma el agua para consumo humano.

Desde la administración municipal se está dimensionando la importancia de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). A partir de esta problemática considero valido formular el siguiente interrogante; ¿Cuál es el diseño adecuado para realizar la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), en el Municipio de

Tocaima; para así poder ayudar a oxigenar el río Bogotá?, Pregunta importante para dar luz a la posible solución del problema.

5 Justificación

Por los beneficios terapéuticos del municipio, el clima, las aguas termales, la variedad de frutas y el agradable ambiente, está creciendo la población, y a su vez el turismo, lo cual es bueno para el desarrollo del Municipio, pero perjudica la descontaminación del río Bogotá a donde llegan todas las aguas residuales,

Al construir una planta de tratamiento de aguas residuales, se va a contribuir con la oxigenación del río, ya que estas aguas llegarán libres de desechos orgánicos y permitirán su sano uso para regar cultivos, dar de beber a los animales, generar el cultivo de peces y otros factores, sin poner el riesgo la salud humana.

Es importante recordar que el agua como lo dice Wiki. (2007). “El agua, como motor de desarrollo y fuente de riqueza, ha constituido uno de los pilares fundamentales para el progreso del hombre”. El agua es una herramienta importante para el impulso económico, pero paradójicamente a medida que va aumentando el desarrollo, también crece la contaminación en los ríos. Esto por la falta de prevención de las fábricas, entes gubernamentales, comerciantes, entre otros.

Con la planta de tratamiento de aguas residuales se pretende devolverle a la naturaleza lo que ella nos da, un río descontaminado.

6 Objetivos

6.1 Objetivo General

Evaluar el estado actual de las condiciones de aguas residuales del Municipio de Tocaima Cundinamarca, para poder realizar el diseño de la planta de tratamiento, (PTAR), con el fin de ayudar a oxigenar el río Bogotá

6.2 Objetivos Específicos:

- Realizar un diagnóstico del estado actual del desagüe de aguas residuales del Municipio de Tocaima
- Realizar los estudios topográficos para determinar la ubicación de la planta que beneficie la mayor parte de la población
- Elaborar diseños y cálculos de la planta de tratamiento de aguas residuales

7 Marco de Teórico

El problema de las aguas residuales es tema de 10.000 años atrás, pero no todo era como ahora que el hombre contamina sin pensar que el recurso hídrico, si no se cuida se puede acabar. En la época Neolítica se vivía en un mundo que todo era renovable,” El agua potable fluía de manantiales y arroyos, y los asentamientos sólo tenían una premisa: tener un acceso al agua cercano. Aprovechábamos al máximo todo lo que nos daba el entorno y retornábamos orina y heces con un puñado de huesos y cáscaras de nueces que se integraban al ciclo de la naturaleza. En este sentido, no nos diferenciábamos mucho del resto de las especies”. (Water, 2017,p.1)

Todo cambio cuando el hombre se volvió productivo, comerciante, se dieron cuenta que las aguas residuales podían convertirse en abono a los cultivos, “En la Grecia antigua, ante la ausencia de ríos caudalosos, surgió una primera aplicación de las aguas negras a la fertilización agrícola. En algunas ciudades las alcantarillas llevaban las aguas negras a las afueras de la ciudad hacia un vertedero desde el que se transportaban por conductos a los campos de cultivo”.

(Water,2017, p.2)

Como vemos desde tiempo atrás, el hombre sabía que las aguas residuales servían de abono para la tierra, pero se dieron cuenta que se necesitaba más que enviarlas hacia los cultivos, pues se generaron problemas de salubridad, , Water, (2017); “En aquella época el concepto de higiene estaba todavía alejado del de desinfección. Las aguas negras se evitaban más por su mal olor que por que hubiera una conciencia de su insalubridad y finalmente acababan en el río Tíber”. Desde ahí se comenzó a contaminar las vertientes hídricas.

Colombia no se ha quedado atrás, en Bogotá antes las mujeres transportaban agua en cántaros, desde las fuentes como la del Mono de la Pila, razón por la cual se vio la necesidad de tratar las aguas, de ahí surgió el acueducto, el cual se creó, “el 2 de julio de 1888 cuando entró en servicio el primer tramo de tubería de hierro en el centro de Bogotá. Desde entonces se ha caminado a la par con el crecimiento de la ciudad, llevando bienestar y mejorando la calidad de vida de millones de colombianos.

La tarea no ha sido fácil y sin embargo se han creado varias de las más grandes obras de ingeniería del país, entre ellas, el embalse de San Rafael, la planta de tratamiento Francisco Wiesner, las plantas de tratamiento El Dorado y Tibitoc, la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR Salitre, el Centro de Control, la presa seca Cantarrana y el interceptor Fucha Tunjuelo. Con la llegada del agua potable se erradicaron epidemias y se mejoró la calidad de vida de los bogotanos”.

Para realizar el diagnóstico de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del Municipio de Tocaima, se analizó cómo va actuar la planta en beneficio de la población, se investigó en el repositorio de la Universidad Católica, el proyecto de Pineda L; 2017; “El proceso comprende la estabilización de la materia orgánica, en condiciones aerobias y la eliminación de los productos finales gaseosos en el aire”, se debe tener en cuenta el caudal del río Bogotá para verificar que funcione bien.

Los estudios de acueducto se toman del informe enviado del consorcio de consultoría de Cundinamarca en el contrato interadministrativo No EPC-078-2010. Del cual se sacaron estas conclusiones:

- Se requirió la utilización de estaciones provenientes de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR y del IDEAM, con el fin de obtener y analizar la información completa.
- La región presenta una temporada de lluvias intensas, entre los meses de octubre y noviembre, como es típico para la cuenca del Río Magdalena.
- La lluvia total anual media es de 1184.96 mm.
- Para un periodo de retorno correspondiente a 50 años se obtiene un caudal máximo esperado de 1314.29 l/s de acuerdo con la información suministrada por el IDEAM y La CAR.
- Se garantiza un caudal de 125.74 l/s el 90% del tiempo.

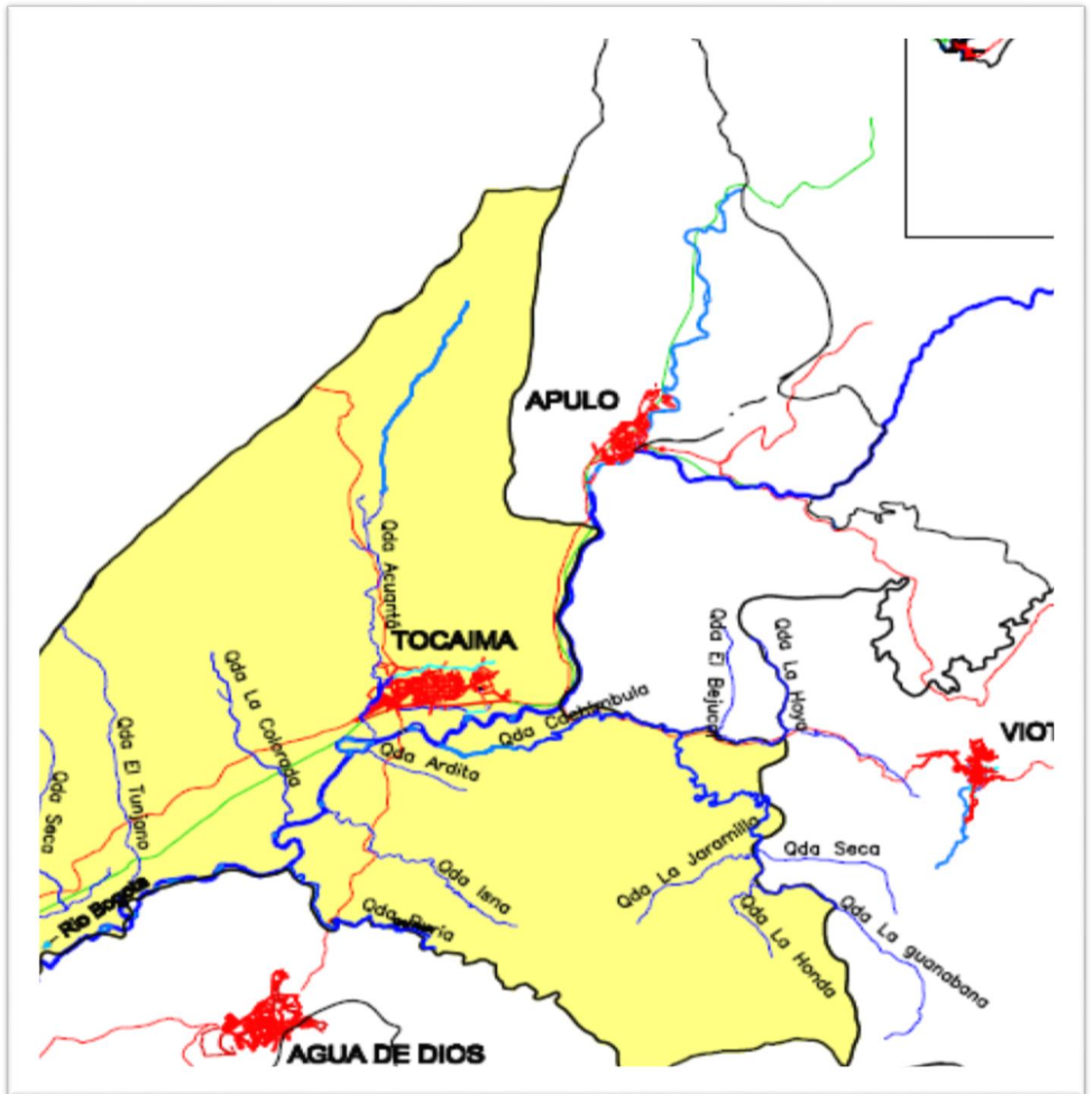
Se anexa el presupuesto de materiales y mano de obra que la Car aprobó para la realización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

7.1 Marco Geográfico:

El territorio municipal está localizado geográficamente en las siguientes coordenadas: Longitud, entre los 75 grados 47 minutos de Longitud Oeste en el Cerro de Piedras Negras en el límite con Girardot y Nariño y los 74- grados 32 minutos de Longitud Oeste en el límite con Viotá y Nilo; Latitud, entre los 4- grados 22 minutos de Latitud Norte en el límite con Agua de Dios y Nilo y los 4 grados 37 minutos de Latitud Norte en el Alto del Trigo en los límites con Apulo y Jerusalén. La cabecera municipal de Tocaima se localiza a 4 grados 28 minutos de Latitud Norte y a 74 grados 38 minutos de Longitud Oeste.

Figura 1

Localización Municipio de Tocaima



Fuente: Estudios técnicos y constructores LTDA

La Plata de tratamiento de aguas residuales se localizará en:

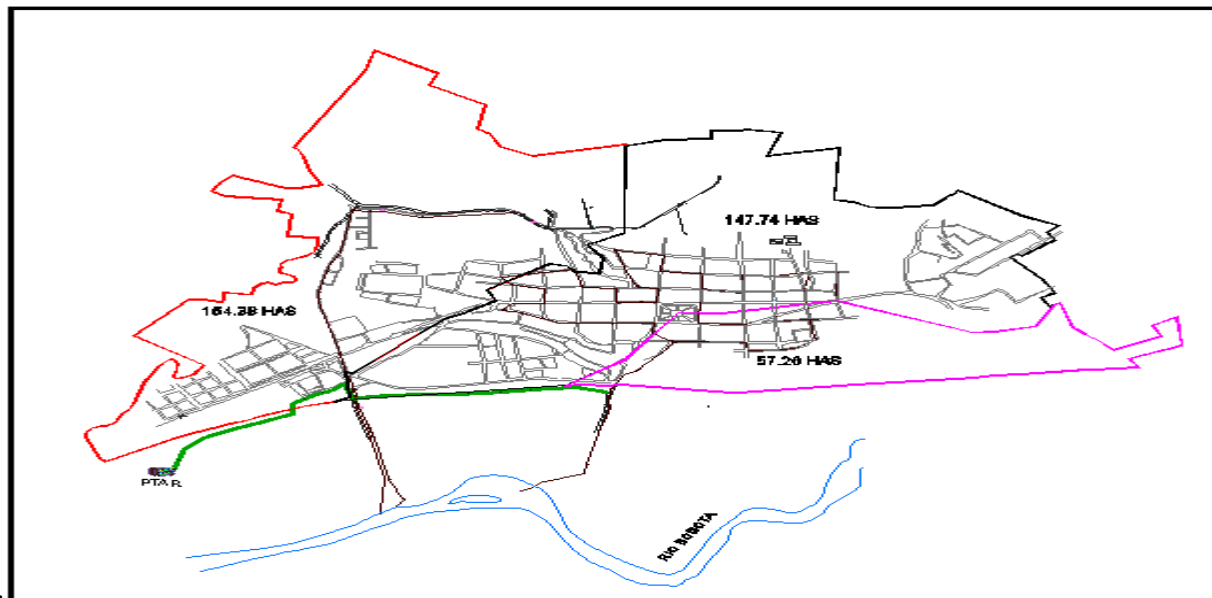
Actualmente los interceptores Camellón del Río, Suspiro 1 y Suspiro 2 vierten sus aguas directamente al cauce del río Bogotá, con el diseño y posterior construcción del interceptor principal, todas las aguas residuales producidas por el municipio se llevarán a la PTAR diseñada para su tratamiento.

Tabla .1
Interceptores

INTERCEPTOR	SECTOR AFERENTE	POZO DE RECIBO
Interceptor Camellón del Río	Sector Oriental, área aferente de 57,26 has.	Pozo 2
Interceptor Suspiro 1	Sector Central, área aferente de 147,74 has.	Pozo 25
Interceptor Suspiro 2	Sector Occidental área aferente de 154,38 has.	Pozo L9

Figura 2.

Localización de Obras



Fuente: Estudios técnico construcciones LTDA

Figura .3

Panorámica de predio seleccionado para la construcción de la PTAR



Fuente: Estudios técnico construcciones LTDA

Figura .4

Panorámica de predio seleccionado para la construcción de la PTAR



Fuente: Estudios técnico construcciones LTDA

Se observan características de relieve plano sobre terraza aluvial con vegetación en zona seleccionada para la construcción de la PTAR.

7.2 Marco Legal

Normas de ubicación de sistemas de tratamiento de aguas residuales:

Artículo 1. De conformidad con el artículo 289 de la ley No. 5395 del 30 de octubre de 1973, el Ministerio de Salud en consulta con el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, para la ubicación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, establece los requisitos siguientes:

a) En lugares donde exista redes de alcantarillado sanitario en funcionamiento en los alrededores, deberá estudiarse en conjunto con la institución que administre el servicio, la posibilidad de conexión al sistema.

b) Deberá estudiarse el uso de tanques sépticos y drenajes individuales, diseñados conforme el procedimiento establecido en las Normas de Presentación, Diseño y Construcción para Urbanizaciones, Fraccionamientos y Condominios, conforme a Acuerdo No. 78-31 de 1978, si en el lugar, no existe alcantarillado sanitario.

c) El urbanizador deberá construir la red interna de alcantarillado sanitario en zonas establecidas por las instituciones que administran el servicio. Adicionalmente, las instalaciones sanitarias intradomiciliarias deberán proyectarse de forma tal que garanticen la eliminación del uso de tanques sépticos y drenajes individuales y la conexión futura al sistema de alcantarillado, una vez habilitado este.

Artículo 2. Los casos en que, mediante análisis técnico detallado, se descarte la conexión al alcantarillado sanitario y el uso de tanques sépticos y drenajes a que aluden los incisos a) y b) del Artículo anterior, se deberá analizar la utilización de plantas de tratamiento de aguas residuales, para cuya revisión y aprobación de su ubicación se requiere:

- a) Presentar solicitud escrita acompañada con una lámina conteniendo el diseño de sitio, ubicación del sistema de tratamiento y su localización relacionada con el diseño de sitio del desarrollo propuesto, a la escala vigente y una breve descripción del tratamiento a emplear.
- b) La descarga del efluente del sistema de tratamiento deberá hacerse a un cuerpo receptor de aguas de escorrentía y flujo permanente que no sea utilizado aguas abajo para consumo humano. Si el cuerpo receptor recargara a un acuífero, y fuera explotado aguas abajo de su recarga para consumo humano, la aprobación del respectivo vertido, deberá someterse a la institución que administra la explotación de ese acuífero.
- c) Entre la obra civil del sistema de tratamiento y los linderos de propiedad donde se encuentra ubicada la planta de tratamiento, deberá preverse un retiro libre mínimo de veinte metros.
- ch) La separación de los sistemas de drenaje y pozos de registro, relacionados con los límites de propiedad, donde está ubicada la planta de tratamiento, deberán analizarse de conformidad con las condiciones topográficas, del subsuelo, climatológicas y otras, específicas. En ningún caso podrá ser menor de cinco metros.
- d) La ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de actividades industriales o comerciales, será analizada específicamente, conforme a las características del agua residual y las condiciones propias del sitio. En caso de que el fuente industrial se pretenda verter al sistema de alcantarillado sanitario existente, deberá acatarse lo dispuesto en el Acuerdo No. 78-31 de 1978, a que alude el inciso b) del numeral 1) de las presentes disposiciones y las normas establecidas por las instituciones que administran el servicio.

Artículo 3. El Ministerio de Salud solicitará el criterio técnico de otras instituciones involucradas cuando así lo estime conveniente.

Artículo 4. Aprobada la ubicación de los sistemas de tratamiento, el solicitante deberá además, cumplir con:

- a) Los requisitos para la revisión de los sistemas de tratamiento de aguas residuales establecidos por el Departamento de Control Ambiental del Ministerio de Salud.
- b) Los requerimientos para la presentación de proyectos de tratamiento de aguas establecidos por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados quien velará por su estricta aplicación.

Se ha tenido un especial cuidado en aplicar la siguiente normatividad:

- a) Resolución 1096 del 17 de noviembre de 2000. RAS 2000
- b) Decreto 1584/94: Usos del agua y residuos líquidos
- c) Normas Locales, Car y Municipio de Tocaima.

7.3 Marco ambiental

El Municipio de Tocaima, está localizada al extremo del occidente del departamento de Cundinamarca, Limita con los municipios de: Girardot por el occidente, Nariño y Jerusalén por el noroeste, Apulo por el oriente y norte, Viotá por el oriente, Nilo y Agua de Dios por el sur.

Pertenece a la provincia del alto Magdalena, El territorio municipal está localizado geográficamente en las siguientes coordenadas: Longitud, entre los 75 grados 47 minutos de longitud oeste de Greenwich.

La Empresa encargada de prestar el servicio de Acueducto y Alcantarillado de Tocaima es la Empresa aguas del Alto Magdalena, prestadora del servicio a los Municipios de Agua de Dios y

Tocaima. Esta es una Organización de derecho público, dotada por patrimonio propio y autonomía administrativa.

7.3.1 Aspectos Ambientales

- **Pisos térmicos:** Tiene dos pisos térmicos, Templado en el 6,5% del territorio o sea unos 15 kilómetros cuadrados y Cálido en el 93.5% 230 kilómetros cuadrados, con una temperatura promedio de 28 grados, con una precipitación promedio Anual de 1.051,1 mm.; régimen pluviométrico bimodal, caracterizado por presentar dos períodos típicos de lluvias en el año, uno más lluvioso en el segundo semestre (octubre - noviembre), y otro menos lluvioso (abril - mayo) y dos períodos secos (diciembre - enero y julio - agosto); presentando un punto de rocío anual de 24.2; el Municipio se ubica en una zona de disponibilidad deficitaria de agua, presentando tan solo excedentes del orden de 47 mm en Abril, Mayo, Octubre, y déficit que alcanzan los 620 mm al año; con una precipitación barométrico promedio año de 976.4 y una humedad relativo de 67%;
- **Hidrografía:** La hidrografía de Tocaima pertenece a la cuenca del Río Bogotá, con excepción de las quebradas Grande y el Tabaco y sus afluentes al norte en Copó, que vierten sus aguas por medio del Río Seco al río Magdalena.
- **Corrientes y cuerpos de agua superficiales ríos, quebradas, cañadas, lagunas y humedales:** El territorio municipal de Tocaima presenta gran número de fuentes hídricas superficiales, los cuales son utilizados para el suministro de agua a las comunidades, abrevaderos, recreación y por su tradición como ciudad salud en tratamientos terapéuticos.

- **Nacederos:** El territorio municipal de Tocaima presenta gran número de afloramientos de agua, los cuales son utilizados para el suministro de agua a las comunidades, abrevaderos y recreación.
- **Contaminación ambiental:** La principal fuente de contaminación ambiental la constituye el río Bogotá, el cual ingresa al territorio de Tocaima contaminado por la ciudad de Bogotá.
- **Relieve:** El 60% del territorio, presenta un relieve plano o ligeramente plano, con pendientes del 3 al 7% en los valles del río Bogotá y de la quebrada Acuatá, terrenos aluviales, con suelos ricos en bases, aptos para la ganadería y la agricultura. Hacia las Cuchillas, Cerros y Cordilleras que delimitan el Municipio el Relieve se hace más fuerte ondulado o quebrado con pendientes del 12% a 25% (15% del área), llegando finalmente a un relieve fuertemente quebrado 45% a 50%, hasta escarpado y muy escarpado con pendientes mayor al 50%.(25% del área Municipal).
- **Orografía.** Los principales accidentes Orográficos son: los Cerros de Piedras Negras, Guacaná, La Sierra y la Mata, la cordillera Alonso Vera, los Altos de Izná, La Viga, Limba, Copó, la Loma de la Herradura y la Cuchilla Chicuy.
- **Vegetación y fauna.** De acuerdo al sistema clasificatorio de Holdridge, gran parte de municipio de Tocaima se encuentra ubicado en la zona de vida denominada Bosque seco Tropical (Bs-T), caracterizado por presentar biotemperaturas medias superiores a 24 °C, lluvias anuales entre 1.000 y 2.000 mm. y altitudes menores a 500 m.s.n.m. La vegetación y la fauna nativa existente en el territorio municipal la constituyen, en gran medida especies tolerantes a la presencia del hombre (Fauna) y relictos de bosque y especies vegetales aisladas, asociadas principalmente en los bosques de galería.

- **Extracción de minerales:** La extracción de materiales: de cantera, de minas a cielo abierto y de playa, se ubican principalmente en las veredas de Armenia y Vázquez (extracción de Arena y gravilla) en el sector de Quebrada Seca. De piedra para construcción en el sector del Puente de los Suspiros del Río Bogotá. Para la producción de ladrillo hay pequeños chircales en las estribaciones del cerro Guacana, frente a Portillo. Hay yacimientos de yeso en Pubenza, El Cucharo y en Las Lomas próximas al camino de La Teté. Existen yacimientos de carbón que en la actualidad no tienen actividad. Durante las dos últimas décadas se han realizado perforaciones en búsqueda de petróleo, en La Colorada, La Salada, Armenia, La Gloria y Alto de la Viga, aparentemente sin resultados.
- **Economía:** Por más de 350 años Tocaima fue el mayor centro de la provincia en gobierno, población, servicios sociales, economía, turismo, comercio y producción agropecuaria. Actualmente el primer renglón de economía es la agricultura, seguido del Turismo.

8 Metodología

La metodología utilizada para este proyecto es de tipo mixta según Bernal (2016)

“La **investigación mixta** es un tipo de investigación en la cual el investigador utiliza más de un método para obtener resultados”, es decir se aplicarán conceptos de tipo cualitativo, como la causa y el efecto a través de un proceso en el que se analiza la viabilidad de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el Municipio de Tocaima. Según Bernal (2016), “la investigación cualitativa comprende casos específicos no generalizados” Por otro lado, se hará también uso de conceptos del método cuantitativo, como la exploración de esta problemática, todos los resultados de la investigación serán fundamentados en datos reales a través de un proceso inductivo.

El tipo de estudio de este proyecto es exploratorio puesto que se investigará un problema que se está generando en la comunidad; paralelo a esto, la investigación tendrá un alcance explicativo en el cual se determinarán las causas de la problemática, considerando el fenómeno y sus componentes, buscando de este modo generar un sentido de entendimiento sumamente estructurado.

El método de investigación que se utilizará será el inductivo, que se encarga de explorar y describir la problemática para generar perspectivas teóricas.

9 Diseño de la Plata de Tratamiento de Aguas residuales (PTAR)

9.1 Datos de población y Caudales del Municipio

Para llevar a cabo el análisis de la población futura de la municipalidad, se tomaron como fuentes de información las proyecciones realizadas por el DANE para los años 2005 a 2020, así como las proyecciones efectuadas para el “Proyecto de Planes Maestros de Acueducto y Alcantarillado para Municipios de la Cuenca del Río Bogotá - Contrato 0559-07 (COA 5824)”, efectuando adicionalmente otras proyecciones de acuerdo a la metodología establecida en el RAS 2000 con el propósito de compararlas con las anteriores.

Al cotejar las proyecciones de población desarrolladas por la metodología establecida en el RAS 2000, con las efectuadas por el DANE para el período 2005 a 2020, se observó que los resultados más cercanos correspondían a los calculados por el método aritmético, comprobando igualmente que los resultados de las proyecciones urbanas realizadas para el Contrato 0559-07, eran iguales a las efectuadas por el DANE para el período 2005 a 2020, por lo que se validó la metodología utilizada para el mencionado Contrato, el cual tuvo en cuenta además otra población conurbana, la cual fue concertada con el Municipio, incluyéndola en los estudios.

Con base en las proyecciones de población realizadas para el proyecto en el Contrato 0559-07, se determinó un nivel de complejidad Medio Alto para el sistema, utilizando una dotación neta de 135 l/hab-día, según la Resolución N° 2320 de 2009, expedida por. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

En la siguiente tabla se resumen las proyecciones de población y caudales calculados hasta el horizonte de diseño del proyecto que corresponde al año 2035

Tabla .2

Caudal total calculado para todos los colectores e interceptores del proyecto

AÑO	POBLACIÓN (Habitantes)	Qmd (l/s)	F (Harmon)	QMH (l/s)(l/s)	Q c.e (l/s)	Q inf. (l/s)	QDT COLECT .* (l/s)(l/s)	Q PTAR (l/s)
2010	12.593	15,74	2,85	44,94	12.593	12.593	12.593	36,86
2015	13.677	17,10	2,82	48,19	13.677	13.677	13.677	38,48
2020	14.708	18,39	2,79	51,24	14.708	14.708	14.708	40,03
2025	15.662	19,58	2,76	54,02	15.662	15.662	15.662	41,46
2030	16.514	20,64	2,74	56,48	16.514	16.514	16.514	42,74
2035	17.156	21,45	2,72	58,32	17.156	17.156	17.156	43,70

(*) Corresponde al caudal total calculado para todos los colectores e interceptores del proyecto.

Para el municipio de Tocaima, el alcance contractual de los diseños de detalle es:

- ✓ Diseño del Interceptor Principal desde el Camellón del Río hasta el sitio de la PTAR, en longitud de 2.4 kilómetros
- ✓ Diseño de la PTAR de 39.50 l/s

En siguiente tabla se muestran las características de las obras diseñadas:

Tabla ,3

Características de obras diseñadas

OBRA	DESCRIPCIÓN GENERAL	CONDICIONES TÉCNICAS
Interceptor Principal desde el Camellón del Río hasta la PTAR	Recibe las aguas residuales de los tres sectores que componen el sistema de alcantarillado del municipio	Caudal de diseño de 29,06 a 166,15 l/s en diámetro de 14", 16" y 19" y longitud de 1718,31 metros.
Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)	Trata la totalidad de las aguas residuales del municipio	Utilizará filtros percoladores como proceso de tratamiento, para un caudal máximo semanal en el 2035 de 43.7 l/s

9.2 Análisis Hidráulico

Al interceptor confluyen las aguas residuales de la totalidad del casco urbano, en tres puntos principales, de acuerdo con lo estipulado en la siguiente tabla:

Tabla No. 4 Proyecciones de Población y Caudales

INTERCEPTOR	SECTOR AFERENTE	POZO DE RECIBO
Interceptor Camellón del Río	Sector Oriental, área aferente de 57,26 has.	Pozo 2
Interceptor Suspiro 1	Sector Central, área aferente de 147,74 has.	Pozo 25
Interceptor Suspiro 2	Sector Occidental área aferente de 154,38 has.	Pozo L9

Actualmente los interceptores Camellón del Río, Suspiro 1 y Suspiro 2 vierten sus aguas directamente al cauce del Río Bogotá. Con el diseño y posterior construcción del interceptor principal, todas las aguas residuales producidas por el municipio se llevarán a la PTAR diseñada para su tratamiento.

9.3 PTAR

Conjuntamente con la entidad encargada de la operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto y alcantarillado y en compañía de la comisión de topografía se hizo un recorrido de los posibles corredores correspondientes a la obra a diseñar.

En las fotografías siguientes se muestran los corredores correspondientes al interceptor

Figura. 5

Localización del interceptor paralelo a la línea férrea



Fuente: Fotografía. Localización del interceptor paralelo a la línea férrea. Estudios técnicos y construcciones LTDA

Figura .6

Interceptor sobre la vía Tocaima – Agua de Dios



Fuente: Fotografía No.6 Interceptor sobre la vía Tocaima – Agua de Dios. .

Figura .7

Llegada al sitio de la PTAR



Fuente: Fotografía . Llegada al sitio de la PTAR. Estudios técnicos y construcciones LTDA

9.3.1 Reconocimiento del sitio de la PTAR

Se realizó por parte de los especialistas de la consultoría el reconocimiento del sitio objeto de estudio, a continuación, se presenta registro fotográfico de la visita.

Fotografía No. 8

Panorámica de predio seleccionado para la construcción de la PTAR



Fuente: Fotografía *Panorámica de predio seleccionado para la construcción de la PTAR*. Estudios técnicos y construcciones LTDA

9.3.2 Levantamientos Topográficos

El proceso del levantamiento se realizó en diferentes etapas, complementarias entre sí que aseguran la precisión requerida.

Para la georeferenciación del trabajo se comenzó colocando en la localidad un par de placas que identificaran el proyecto y la localidad, intervisibles entre si y leídas con GPS en un tiempo no menor de dos (2) horas.

Después de obtenidas las coordenadas de las placas por el sistema de GPS, se procedió a levantar con Estación Total, y tomando como punto de partida las placas, una poligonal cerrada que abarcara la mayor parte de la localidad. Para el cierre de la (z), se pisó los mismos deltas de la poligonal con nivel de precisión.

Con los datos obtenidos (x,y) de la Estación Total y (z) del Nivel de precisión, se procedió al levantamiento de los detalles de la localidad, siempre partiendo de un (x,y,z) conocido.

Para el procesamiento de los datos obtenidos en terreno se utilizaron programas propios de cada estación o genéricos como Sokkia I/O. Se obtuvo el cálculo de coordenadas y con ello se generó la nube de puntos en Autocad, que posteriormente se utilizaron para crear un modelo de terreno (genéricamente llamado TIN) como base de todo trabajo que se fuera a realizar.

9.3.3 Posicionamiento de Placas con GPS

El objetivo de esta actividad es establecer las bases auto posicionadas en el área de trabajo, referida al Elipsoide WGS-84 con la transformación básica a coordenadas planas MAGNA-SIRGAS DEL INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI DE COLOMBIA.

Para ello se materializó en terreno dos placas en aluminio montados en monolitos de hormigón, intervisibles entre si, a una distancia no menor de 80 metros.

La Georeferenciación se efectuó por la modalidad de auto posicionamiento de dos vértices base a la Red Geodésica Mundial WGS-84, con GPS geodésico y el post proceso de los datos se calculó con la Modalidad de observación Estática (medición de dos puntos simultáneamente) y la configuración del sistema de referencia Magna-Sirgas Bogotá.

El GPS se configuró con grabación de intervalos de 3 segundos, durante 120 minutos. Y chequeo directo por vectorización inversa.

Para el procesamiento de la información, se empleo el software Administrador de Proyectos Astecht Solutions 2.60. El cual procesa los datos y entrega los resultados en coordenadas geográficas y planas Magna Sirgas.

Toma de detalles

Una vez levantada y calculada la poligonal, se procedió a la toma de detalles con estación total y se registraron todos los detalles pertinentes a un levantamiento de acueducto y alcantarillado.

Las carteras generadas por la estación hacen parte de este informe con los títulos “Carteras de campo” y “Cálculo de coordenadas” y en los archivos digitales en la carpeta “Datos crudos”

Equipos utilizados

Para los levantamientos fueron utilizados los siguientes equipos, debidamente calibrados y certificados:

- Equipo de GPS referencia TRIMBLE R6
- Estación electrónica LEICA TCR Serial 699095
- Nivel de precisión PENTAX AP120 Serial 127-136
- Nivel de precisión TOPCON GTS 4ª FK 0092

Trabajos Desarrollados.

Para la zona de estudio se realizó un reconocimiento de campo mediante el cual se identificaron los diferentes aspectos técnicos enfocados en general hacía las condiciones de estabilidad y de comportamiento geomecánico de los materiales; se observaron las características físicas, espaciales, de drenaje y de usos del suelo, que participan como variables físicas en el comportamiento geotécnico de la zona de proyecto. Los aspectos relevantes fueron relacionados mediante la toma de fotografías terrestres.

Para cada sitio del proyecto y de estudio, se realizó la correspondiente exploración de campo mediante la realización de sondeos mecánicos y manuales tipo barrenos y apiques; de cada exploración se realizó la respectiva descripción visual del material encontrado, así como de la toma de muestras representativas a las que se les realizaron ensayos de mecánica de suelos del tipo clasificación, resistencia y compresibilidad.

En el desarrollo de los sondeos manuales se practicó el ensayo de penetración normal, mediante el cual se evalúa la resistencia del suelo a la penetración, cuantificada por el número de golpes requeridos para hincar un muestreador golpeado con martillo de 140 libras; se registra el número de golpes por pie. De cada barreno y/o apique se tomaron muestras de material representativo a las que se les realizaron pruebas de laboratorio para Mecánica de Suelos.

Los ensayos practicados fueron los siguientes:

Caracterización Litológica y Geomorfológica de la Zona de Proyecto

Los análisis de la información existente y el reconocimiento de campo permiten desarrollar una descripción física de cada zona de estudio en los aspectos litológicos, estructurales y morfológicos, así como en los relacionados con la hidrología de la zona de estudio. La zona es de riesgo sísmico intermedio.

Con base en información general de Tocaima. Tomada de la Plancha L9 – Tocaima Instituto Geológico Nacional 1956 y la descripción litológica y estructural para la zona general de Tocaima, la cual se presenta según información tomada de la memoria explicativa del mapa geológico de Cundinamarca según trabajos realizados por los geólogos Jorge E Acosta y Carlos E Ulloa, Ingeominas 1997.

En el municipio de Tocaima, se encuentran depósitos Cuaternarios tipo depósitos y niveles de terraza aluvial (Qta,Qal), y afloran rocas de la Formación Barzalosa (Pgba), constituida por un conjunto de conglomerados en la parte inferior, arcillolitas abigarradas con algunas

intercalaciones de conglomerados en la parte media y arcillolitas con vetas de yeso en intercalaciones de areniscas en la parte superior.

Con base en la litología y al reconocimiento, puede decirse que las únicas geoformas observadas en la zona, corresponden a geoformas de tipo acumulativo, representadas por los depósitos Cuaternarios tipo aluviales. En la zona de proyecto, la Formación Barzalosa (Pgba), que subyace a los depósitos aluviales, considerada de edad Terciaria muy reciente, genera suelos residuales arcillo limosos de baja plasticidad.

En el Municipio se presenta un régimen pluviométrico bimodal, caracterizado por presentar dos períodos típicos de lluvias en el año, uno más lluvioso en el segundo semestre (octubre - noviembre), y otro menos lluvioso (abril - mayo) y dos períodos secos (diciembre - enero y julio - agosto).

Análisis y Resultados Geotécnicos Zonas de Corredores para Emisarios.

En general, para el municipio de Tocaima, el corredor para el interceptor final hasta el sitio de la PTAR, transcurre sobre vías urbanas de pendiente moderada, generalmente en afirmado, desarrollándose sobre terrenos de buena competencia geomecánica, con buenos espacios para la ejecución de las obras de excavación sin que se detecten problemas de estabilidad.

Interceptor Principal. Hasta el sitio de tratamiento PTAR, este corredor tiene una longitud de aproximadamente 1.673 metros. Fue proyectado en tubería PVC de 14" de diámetro, para el que se determina que será instalado en condición de zanja, cuyo ancho será de 0.70 metros. En su recorrido se identifican tramos que van por terreno natural y afirmado de relieve plano, igualmente transcurre por un corto tramo construido en pavimento flexible. Se presentan alturas variables de excavación desde 1,60 hasta 6,00 metros.

Con base en los resultados de la exploración geotécnica, se determina que la estratigrafía de este corredor está conformada por rellenos arena limosos, capa vegetal y estratos de limos orgánicos hasta la misma estructura del pavimento flexible para los tramos que corresponden con vías; subyaciendo se encuentran suelos finos limosos y arcillosos de baja plasticidad de consistencia firme a dura, los que se caracterizan con valores de resistencia a la penetración estándar de 12 a 15 golpes/pie; seguidamente se identifican suelos granulares conformados por gravas y arenas con finos limosos de baja plasticidad, este estrato granular presenta valores de resistencia a la penetración estándar del orden de 22 golpes/pie. En general los materiales encontrados a partir de los rellenos se pueden catalogar de buena competencia geomecánica. El estrato portante corresponderá a estos suelos limosos y arcillosos así como a los suelos granulares, los que se caracterizan con un valor medio de resistencia media a la penetración de 17 golpes/pie, lo que permite cuantificar una capacidad de soporte de 15 ton/m², que responde adecuadamente con el nivel de cargas esperadas las que son del orden de 6 ton/m² (cargas por rellenos, peso propio y de tránsito).

Los materiales para instalación y atraque deberán corresponder a materiales seleccionados tipo recebo compactados al 95% del proctor Modificado; en los corredores que correspondan a vías vehiculares, el acabado deberá estar conformado por la correspondiente estructura del pavimento que deberá constar de la capa de concreto asfáltico y los granulares de soporte en material tipo base y sub-base; en los tramos en afirmado, el acabado estará constituido por granulares tipo recebo y/o sub-base. Los materiales que serán intervenidos en las excavaciones, al corresponder a suelos finos limo arenosos y granulares (gravas, arenas, guijarros) con matriz fina de baja plasticidad, los hace aptos para ser utilizados en los diferentes tipos de rellenos. Para su uso óptimo se deberá hacer la respectiva caracterización geomecánica.

En aspectos geomecánicos relacionados con la estabilidad de las excavaciones, se determina que para alturas de excavaciones menores de 1.50 metros, se pueden realizar sin el uso de entibados y con cortes verticales; para alturas de excavaciones entre 1.50 a 6 metros, se pueden desarrollar con cortes verticales y empleando sistemas de entibados en madera del tipo ED-1 (entibados discontinuos en madera).

Estación de Bombeo. El proyecto hidráulico contempla la proyección y construcción de una estación de bombeo la que se han diseñado para una profundidad de 4 metros. Para este nivel el estrato portante corresponde con suelos granulares tipo gravo arenosos con finos limo arcillosos de baja plasticidad. Para los correspondientes diseños estructurales se determina la capacidad portante en 12 ton/m². Estas estructuras de bombeo trabajarán como estructuras compensadas, por cuanto los esfuerzos generados por las excavaciones, del orden de 9 ton/m², compensan la respectiva presión de contacto, que es del orden de 6 ton/m². Para las excavaciones en las estaciones de bombeo se recomienda su ejecución con taludes verticales y el manejo de la estabilidad de las mismas mediante el empleo de entibados en madera del tipo Entibados Discontinuos en madera ED-1, cuya configuración se presenta en los respectivos planos de diseño; el uso de entibados implica un sobre ancho de excavación de mínimo 0.30 metros en cada lado del área de excavación; según lo determine el Contratista, la madera del entibado puede usarse como formaleta para la colocación del concreto.

Análisis y Resultados Geotécnicos en Zona de PTAR.

El sistema proyectado para el tratamiento de las aguas residuales incluye los siguientes procesos: tratamiento preliminar (cribado y desarenado) manuales, tanque de almacenamiento e igualación para bombeo a filtros percoladores, tratamiento secundario mediante filtros biológicos percoladores, sedimentador secundario y sistema de desinfección con hipoclorito de sodio, implementando además un sistema de deshidratado de lodos. El sitio en el que se construirá la PTAR, que tiene un área del orden de 2 Has, presenta un relieve ondulado a plano;

litológicamente está ubicada sobre depósitos sedimentarios y cuaternarios tipo aluviales; el sector está completamente cubierto por pastos y vegetación arbustiva baja.

De acuerdo con los resultados de la exploración geotécnica realizada en la zona de proyecto para la Ptar, se determina la respectiva caracterización geomecánica mediante la cual se determina un estrato superficial de capa vegetal y limo orgánico de aproximadamente 0.80 metros de espesor; subyacen suelos finos arcillo limosos de baja plasticidad y de consistencia firme, se detecta presencia de material granular tipo gravas y arenas, las que se detectan hacia los 5 metros de profundidad. El suelo fino arcilloso se caracteriza con valores de resistencia a la compresión entre 6 a 13 ton/m², condiciones mecánicas que establecen capacidades portantes competentes en función del tipo de estructura que se construirá.

La zona seleccionada se caracteriza por un relieve plano cubierto de vegetación tipo pastos que corresponde a depósitos aluviales por lo que se espera un nivel freático en función de las variaciones de los niveles de la quebrada Acuatá y/o del río Bogotá; su presencia se estima hacia los 2,00 metros, lo que implica un manejo de aguas permanente por medio de bombeo durante el respectivo proceso constructivo y/o el posible empleo del sistema de “wells points”. Por las condiciones del agua sub-superficial, se esperan sub-presiones, las que se estiman en 0.3 ton/m². En general todas las estructuras, a nivel de muros, deberán llevar una capa de material filtrante de mínimo 0.40 metros de espesor, el que estará protegido por un geotextil no tejido tipo NT-2400 o similar; en consecuencia se han considerado los coeficientes de presión activa (K_a) y pasiva (K_p) según valores relacionados en el referido cuadro. Los taludes de excavación tendrán una inclinación 1H: 1V; el material seleccionado de excavación se recomienda ser utilizado para conformar los correspondientes rellenos de acabado; este material deberá ser compactado al 95% del Proctor Modificado. El material de excavación seleccionado puede ser utilizado para

conformación de pisos y/o de mejoramiento y/o para soporte de placas y/o para los accesos y zonas de parqueo. Las consideraciones anteriores implica la presencia de material aluvial granular que se encuentre durante el respectivo proceso de excavaciones; en general los materiales encontrados en las excavaciones, deberán ser caracterizadas geotécnicamente por el respectivo contratista, para aplicar su correspondiente uso.

Para las casetas y oficinas se recomienda una cimentación superficial por medio de zapatas aisladas con su respectivo sistema de vigas de amarre; se asigna un nivel de fundación de 1,20 metros y una capacidad portante de 9 ton/m². Las zonas de parqueo se pueden conformar en concreto rígido, en placas moduladas cada 2 metros de 0.17 metros de espesor y soportadas en una capa de material de sub-base de 0,30 metros de espesor. El material aluvial del sector, puede ser utilizado tanto para sub – base como para elaboración del concreto. El material requerirá de un manejo por medio de lavado, gradación.

En general para todas las estructuras se deberá realizar una adecuación de espacios perimetrales mediante la conformación de andenes, igualmente se recomienda manejo de aguas tanto de esorrentía como de precipitación por medio de un sistema perimetral de drenaje y sub-drenaje.

Los sitios escogidos para la PTAR presentan un relieve plano ondulado que litológicamente corresponden a zonas de depósitos aluviales del río Bogotá, los cuales están conformados por sedimentos finos arcillo limosos y por material granular desde arenas, gravas y guijarros con matriz limo arcillosa. Las condiciones geomecánicas en cuanto a capacidades portantes son adecuadas, sin embargo se deberán analizar aspectos geomecánicos relacionados con las variaciones de los niveles de aguas sub-superficiales y su incidencia en el comportamiento de la obra en empujes por sub presiones hidrostáticas, así como limitaciones en la capacidad portante,

generación de asentamientos y naturalmente la valoración de los niveles máximos que genera el río en época de crecientes.

Dique de protección. Teniendo como referencia la cercanía al río Bogotá y a la quebrada, se recomienda la construcción de un dique perimetral el cual servirá como estructura flexible de protección contra posibles crecimientos del río y de la quebrada. Su construcción se recomienda realizar con material seleccionado. se construirá en capas de 0.25 metros de espesor; cada capa será compactada al 95% del Proctor Modificado; el ancho de corona será de 2 metros y los taludes tendrán inclinación de 1 : 1, los cuales se recomienda proteger con vegetación.

Fuentes De Materiales

El desarrollo del proyecto constructivo requiere del empleo de los correspondientes materiales para construcción; con base en las diferentes obras y tipos de estructuras se necesitan materiales para rellenos de mejoramiento de suelos y para atraque de tuberías, agregados para concretos y para material filtrante, material seleccionado para construcción de pavimentos (rígidos y flexibles) y material para rellenos tipo recebo.

De las excavaciones a realizar en la zona de tratamiento se obtendrá material aluvial como tal en matriz arcillosa el que se considera apto para ser utilizado en rellenos comunes con material tipo recebo, como también para ser usado como atraque en la instalación de tubería. Haciendo un manejo mediante lavado se puede obtener agregado granular tipo arenas gruesas, gravas y guijarros.

Con relación a la localización de la zona de proyecto, se determina como fuente de materiales las canteras de Mondoñedo, las que son reconocidas por la CAR y por tanto se recomienda como fuente. Litológicamente corresponde al Grupo Guadalupe en el que se presentan las diferentes

formaciones y/o niveles como son la Formación Labor y Tierna (Ksglt) que corresponde a afloramientos de arenita de cuarzo; la Formación Plaeners (Ksgpl) que corresponde a niveles de limolita silíceica y chert; la Formación Arenisca Dura (Ksgd) que corresponde a arenita cuarzosa con intercalaciones de limolita silíceica. De estas canteras se puede obtener todo tipo de materiales para la construcción de las diferentes obras y estructuras del proyecto, desde materiales para relleno tipo recebo, hasta granulares para base, sub-base, para concretos y agregados granulares para pavimentos. En la figura adjunta se muestra su localización y la litología.

Figura .9
Localización zonas de canteras en Mondoñedo

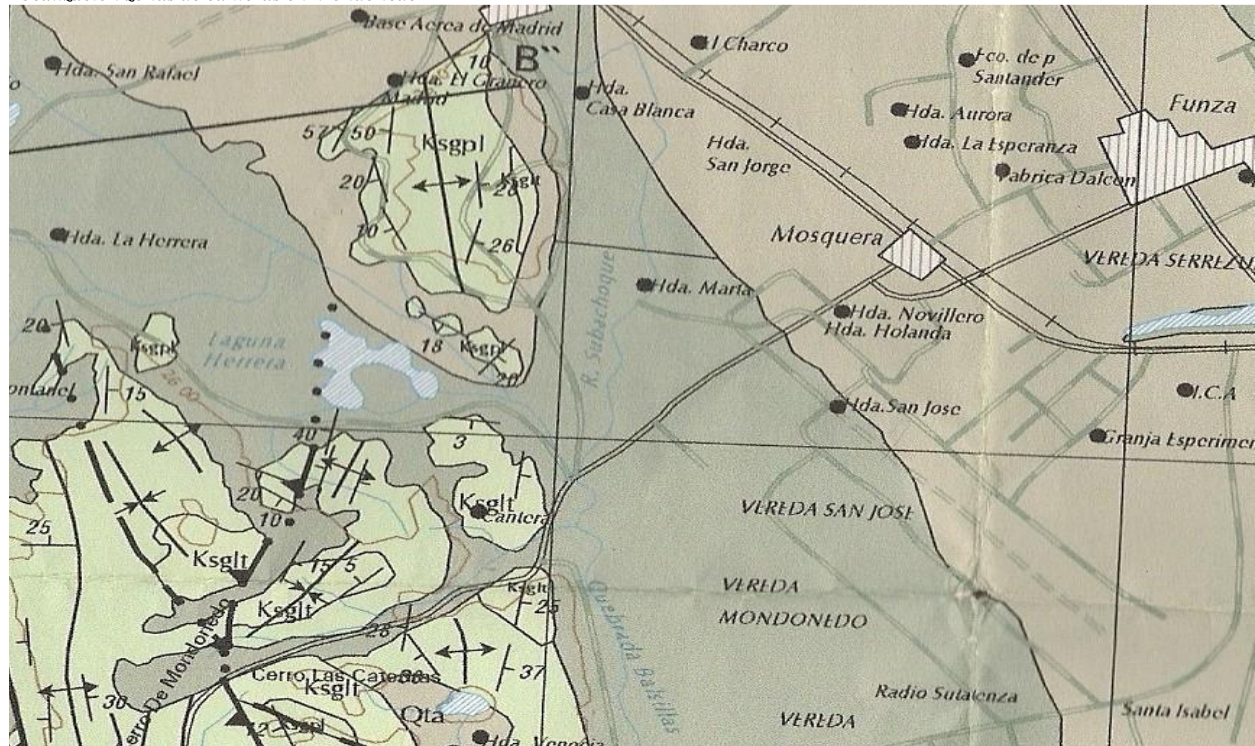


Figura No. 9 Localización zonas de canteras en Mondoñedo. Fuente de materiales, obtención de agregados granulares para concretos, base, sub-base, material filtrante, recebos

9.4 DISEÑO DE DETALLE DEL INTERCEPTOR

Para el municipio de Tocaima, el objeto de la consultoría es diseñar el interceptor principal que va desde el Camellón del Río hasta el sitio de la PTAR, recogiendo las aguas residuales de los tres interceptores que vierten al Río Bogotá.

En la siguiente tabla se muestran las principales características de los colectores y del interceptor a diseñar dentro del alcance del contrato de consultoría

Tabla 5

Características de los colectores y del interceptor

INTERCEPTOR	DESCRIPCIÓN	Q. DISEÑO	DIAMETROS	LONGITUD (metros)	POZOS	
					Inicial	Final
Interceptor Principal	Recoge las aguas servidas de los sectores oriental, central y occidental interceptando los colectores Camellón del Río, Suspiro 2 y Suspiro 2	166.15 l/s	14", 16" y 18"	1718.31	P2	PT

9.5 DISEÑO HIDRÁULICO Y GEOMÉTRICO

En la elaboración de los diseños se tuvo en cuenta la información presentada por el Contrato de Consultoría No. 0559-07 (COA5824), Planes Maestros de los 40 Municipios de la Cuenca del Río Bogotá, y su posterior confirmación por medio de trabajos de campo con fines de recolección de información necesaria para la elaboración de los diseños de detalle objeto del presente informe.

Modelación Hidráulica

Para la realización del diseño de la red de alcantarillado fue necesaria la estimación previa de los aportes de aguas servidas, la cual fue realizada de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Título D del Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000 y presentadas y aprobadas por la CAR con antelación a los diseños.

Para el diseño de la red se consideraron las aguas residuales domésticas y aquellas provenientes de la infiltración y por conexiones erradas. No se incluyeron aportes industriales, ni comerciales por la naturaleza netamente residencial del municipio.

Por otra parte y con base en la metodología seguida, se estimaron las áreas aferentes de cada conducto del sistema, tal como se muestra en la tabla siguiente. De esta forma se pudo obtener un valor de caudal para cada uno de los tramos diseñados y por tanto, realizar la comprobación de su funcionamiento hidráulico.

Tabla No. 6
Áreas y caudales de diseño

DESCRIPCIÓN	ÁREA	CAUDAL MEDIO DIARIO
INTERCEPTOR CAMELLÓN DEL RÍO	57.26 hectáreas	3.42 l/s
INTERCEPTOR SUSPIRO 1	147.74 hectáreas	8.82 l/s
INTERCEPTOR SUSPIRO 2	154.38 hectáreas	9.21 l/s
TOTAL	359.38 hectáreas	21.45 l/s

9.5.1 Proyecciones de Caudales para Colectores e Interceptores

El resumen de las proyecciones de los caudales totales calculados para los colectores e interceptores, realizados por la presente consultoría de acuerdo a la metodología establecida en el RAS 2000, y por el Contrato 0559-07 se presenta en las siguientes tablas.

Tabla No. 7
Proyecciones de Caudales Totales para Colectores e Interceptores Metodología RAS 2000

AÑO	POBLACIÓN (Hab)	Qmd	F (Harmon)	QMH	ÁREA (Ha)	Q c.e	Q inf.	QDT
2010	12.593	15,74	2,85	44,94	359,38	35,94	71,88	152,75
2015	13.677	17,1	2,82	48,19	359,38	35,94	71,88	156
2020	14.708	18,39	2,79	51,24	359,38	35,94	71,88	159,05
2025	15.662	19,58	2,76	54,02	359,38	35,94	71,88	161,84
2030	16.514	20,64	2,74	56,48	359,38	35,94	71,88	164,3
2035	17.156	21,45	2,72	58,32	359,38	35,94	71,88	166,13

Tabla No. 8
Proyecciones de Caudales Totales para Interceptores, Colectores y Emisarios Finales Contrato 0559- 07 (COA 5824)

AÑO	POBLACIÓN	Qmd	Infiltración	Q medio	QMH
	(Hab)	(l/s)	(l/seg)	(l/seg)	(l/seg)
2010	12.593	17,9	7,5	25,4	69,3
2015	13.677	19,5	8,1	27,6	74,5
2020	14.708	20,9	8,7	29,6	79,3
2025	15.662	22,3	9,3	31,6	83,7
2030	16.514	23,5	9,8	33,3	87,6
2035	17.156	24,4	10,2	34,6	90,5

Parámetros de contrato 0559-07

Q Diseño = QMH

QMH = (Qmd + Q inf) *F

Q infilt = 0,05 L/seg/ha)

Dotacion neta 2035: 153.6 l/hab-dia

F (2035) = 2,62

En los resultados de las tablas anteriores se observa que los caudales proyectados conforme a la metodología establecida en el RAS 2000 son mayores, destacando que en el Contrato 0559-07 se utilizaron diferentes criterios para obtener los caudales totales

Proyecciones de Caudales para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

El resumen de las proyecciones de los caudales estimados para la PTAR, dentro de los contratos 543 -2010 (actual consultoría) y 0559-07 (COA 5824), se presenta en las siguientes tablas:

Tabla No. 9
Proyecciones de Caudales para la PTAR Contrato 543 -2010

AÑO	POBLACIÓN (Hab)	Q PTAR (l/s) CONT. 543-2010
2010	12.593	36,86
2015	13.677	38,48
2020	14.708	40,03
2025	15.662	41,46
2030	16.514	42,74
2035	17.156	43,70

Caudales de diseño de las unidades de entrada, interconexión y salida de la PTAR

En la presente tabla se relacionan los caudales proyectados para las unidades de entrada, interconexión y salida de la PTAR.

Tabla No. 10
Proyecciones de Caudales de Estructuras de Entrada, Interconexión y Salida de la PTAR

AÑO	Q ESTRUCTURAS (l/s)
2010	62,90
2015	66,16
2020	69,20
2025	71,99
2030	74,45
2035	76,29

$$Q \text{ Estructuras} = QMH + 0.05 \text{ l/s-ha} * A$$

Cálculo del caudal de aguas residuales

De acuerdo con las proyecciones de población y caudales de aguas residuales mostrados en la Tabla xxxx , se realizó la simulación de las redes de alcantarillado de los colectores e interceptor objeto de la consultoría.

La siguiente tabla realiza un resumen de los valores de los parámetros considerados para la estimación de caudal para el municipio de Tocaima.

Tabla No. 11
Parámetros

PARÁMETRO	VALOR
DOTACIÓN NETA (L/H/D)	135.00
NIVEL DE COMPLEJIDAD	MEDIO ALTO
CONEXIONES ERRADAS (L/S/HA)	0.1
INFILTRACION L/S/HA)	0.2

La siguiente tabla resume los caudales para el horizonte de diseño considerado y para cada uno de los diseños:

Tabla No. 12
Caudales por colector para el año 2035

SECTOR	Q _{md}	Q _{MH}	Q(c.e+inf)	Q DISEÑO
CABECERA MUNICIPAL	21.45 l/s	58.32 l/s	107.81 l/s	166.13 l/s

Diseño hidráulico

En la tabla siguiente se muestran las características hidráulicas del diseño del interceptor, de acuerdo con lo estipulado en los anteriores numerales, en cuanto a alcance, áreas y caudales de diseño.

Tabla No. 13

Características Hidráulicas de colectores e interceptor

DE	A	LONGIT	PEND	DIÁMETRO		Q/Q0	Vr	F	FT
		m	%	mm	pulgadas		m/s		N/m2
P2	L1	92.34	0.30	350	14	0.28	0.78	0.76	2.23
L1	L2	93.38	0.70	350	14	0.18	1.05	1.19	4.28
L2	L3	100.00	1.00	350	14	0.15	1.20	1.43	5.61
L3	L4	100.00	0.20	350	14	0.34	0.68	0.62	1.62
L4	L5	100.00	0.70	350	14	0.18	1.05	1.19	4.28
L5	L6	100.00	0.15	350	14	0.40	0.61	0.53	1.28
L6	L7	100.00	0.30	350	14	0.28	0.78	0.76	2.23
L7	L8	60.67	1.70	350	14	0.12	1.44	1.87	8.35
L8	25	60.67	2.00	350	14	0.11	1.53	2.04	9.42
25	L9	82.60	0.66	400	16	0.44	1.45	1.12	6.73
L9	L10	55.98	0.75	400	16	0.71	1.78	1.12	8.72
L10	L11	49.94	0.75	400	16	0.71	1.78	1.12	8.72
L11	L12	92.80	0.75	400	16	0.71	1.78	1.12	8.72
L12	L13	56.07	0.75	400	16	0.71	1.78	1.12	8.72
L13	L14	100.00	0.75	400	16	0.71	1.78	1.12	8.72
L14	L15	100.00	0.75	400	16	0.71	1.78	1.12	8.72
L15	L16	100.00	0.66	450	18	0.55	1.67	1.12	8.12
L16	L17	70.00	0.30	450	18	0.82	1.27	0.69	4.01
L17	L18	65.85	0.30	450	18	0.82	1.27	0.69	4.01
L18	L19	70.00	0.25	450	18	0.90	1.19	0.61	3.36
L19	PT	68.01	0.32	450	18	0.79	1.30	0.72	4.26

Tabla 14

Características geométricas del diseño

DE	A	Cota Clave		cota rasante		Recubrimiento		Cota Batea	
		SUPER	INFER	SUPER	INFER	SUPER	INFER	SUPER	INFER
P2	L1	351.30	351.02	352.52	352.26	1.22	1.24	350.95	350.67
L1	L2	351.02	350.37	352.26	351.98	1.24	1.61	350.67	350.02
L2	L3	350.36	349.36	351.98	352.57	1.62	3.21	350.01	349.01
L3	L4	349.35	349.15	352.57	352.60	3.22	3.45	349.00	348.80
L4	L5	349.15	348.45	352.60	351.54	3.45	3.09	348.80	348.10
L5	L6	348.42	348.27	351.54	351.91	3.12	3.64	348.07	347.92

L6	L7	348.27	347.97	351.91	351.48	3.64	3.51	347.92	347.62
L7	L8	347.95	346.92	351.48	350.85	3.53	3.93	347.60	346.57
L8	25	346.91	345.69	350.85	350.46	3.94	4.77	346.56	345.34
25	L9	345.62	345.07	350.46	350.69	4.84	5.62	345.22	344.67
L9	L10	344.95	344.53	350.69	349.86	5.74	5.33	344.55	344.13
L10	L11	344.52	344.15	349.86	349.42	5.34	5.27	344.12	343.75
L11	L12	344.15	343.45	349.42	347.14	5.27	3.69	343.75	343.05
L12	L13	343.45	343.03	347.14	346.97	3.69	3.94	343.05	342.63
L13	L14	343.03	342.28	346.97	346.55	3.94	4.27	342.63	341.88
L14	L15	342.28	341.53	346.55	345.86	4.27	4.33	341.88	341.13
L15	L16	341.53	340.87	345.86	345.54	4.33	4.67	341.08	340.42
L16	L17	340.86	340.65	345.54	344.77	4.68	4.12	340.41	340.20
L17	L18	340.17	339.97	344.77	344.03	4.60	4.06	339.72	339.52
L18	L19	339.95	339.78	344.03	341.23	4.08	1.45	339.50	339.33
L19	PT	339.76	339.54	341.23	340.63	1.47	1.09	339.31	339.09

La ubicación y geometría de los pozos diseñados se muestra en la tabla siguiente:

Tabla No. 15
Características geométricas del diseño de colectores e interceptor

POZO	COORDENADAS		COTA	DIÁMETRO (M)	CÁMARA DE CAIDA
	ESTE	NORTE			
2	938017.15	984322.2	352.52	1.20	NO
25	937215.86	984287.62	350.46	1.20	NO
L1	937927.68	984345.22	352.26	1.20	NO
L10	937148.37	984331.44	349.86	1.20	NO
L11	937102.95	984310.68	349.42	1.20	NO
L12	937026.31	984258.35	347.14	1.20	NO
L13	937025.08	984202.29	346.97	1.20	NO

L14	936934.01	984160.98	346.55	1.20	NO
L15	936842.94	984119.68	345.86	1.20	NO
L16	936751.87	984078.37	345.54	1.20	NO
L17	936688.36	984048.94	344.77	1.20	NO
L18	936628.61	984021.26	344.03	1.20	NO
L19	936639.04	983952.04	341.23	1.20	NO
L2	937834.44	984340.21	351.98	1.20	NO
L3	937735.17	984328.16	352.57	1.20	NO
L4	937635.89	984316.12	352.6	1.20	NO
L5	937535.98	984311.89	351.54	1.20	NO
L6	937436.07	984307.66	351.91	1.20	NO
L7	937336.16	984303.43	351.48	1.20	NO
L8	937276.01	984295.53	350.85	1.20	NO
L9	937191.88	984366.67	350.69	1.20	NO
PT	936649.18	983884.79	340.63	1.20	NO

9.6 DISEÑO DE POZOS DE INSPECCION

Se proyectaron pozos de inspección en sitios de arranques, cambios de dirección, cambios de diámetros, cambios de pendientes, en intersecciones de colectores y en tramos con longitudes comprendidas entre 100 m o 120 m.

Diámetros de los pozos

El diámetro interior de los pozos de inspección será 1,20 m.

Diámetro de Acceso

El diámetro del orificio de entrada será 0,6 m

Materiales:

Cilindros:

Los pozos serán construidos en mampostería de ladrillo con espesores de 0,25m en alturas menores o iguales a 4m; y con espesores de 0,37m en alturas mayores de 4m.

Placas de cubierta:

Los espesores de las placas de cubierta serán de 0.25 m y su diámetro externo de 1.70 m. La tapa de acceso será en concreto.

Bases y cañuelas:

La cimentación consistirá en una base de concreto simple de 0,20 m de espesor con un diámetro tal que sobresalga 0,10 m perimetrales de la pared exterior del cilindro. Sobre esta mesa se construirán las cañuelas de transición esmaltadas, cuya forma será semicircular con pendiente uniforme entre la tubería de entrada y salida. La profundidad mínima de la cañuela será igual a la mitad del diámetro interior del tubo, haciendo las respectivas transiciones cuando haya cambio de diámetro entre la tubería de llegada y de salida.

El fondo de la cámara tendrá pendientes mínimas transversales de 15% desde la cañuela hasta la pared interna del cilindro.

En las siguientes figuras se observan los esquemas de los pozos, base y cañuela y losa de cubierta para pozos de inspección con altura menor de 4.00 metros, que es el caso de Tocaima.

Figura No. xxx Pozo de inspección para profundidades menores o iguales 4 m e=0.25 m

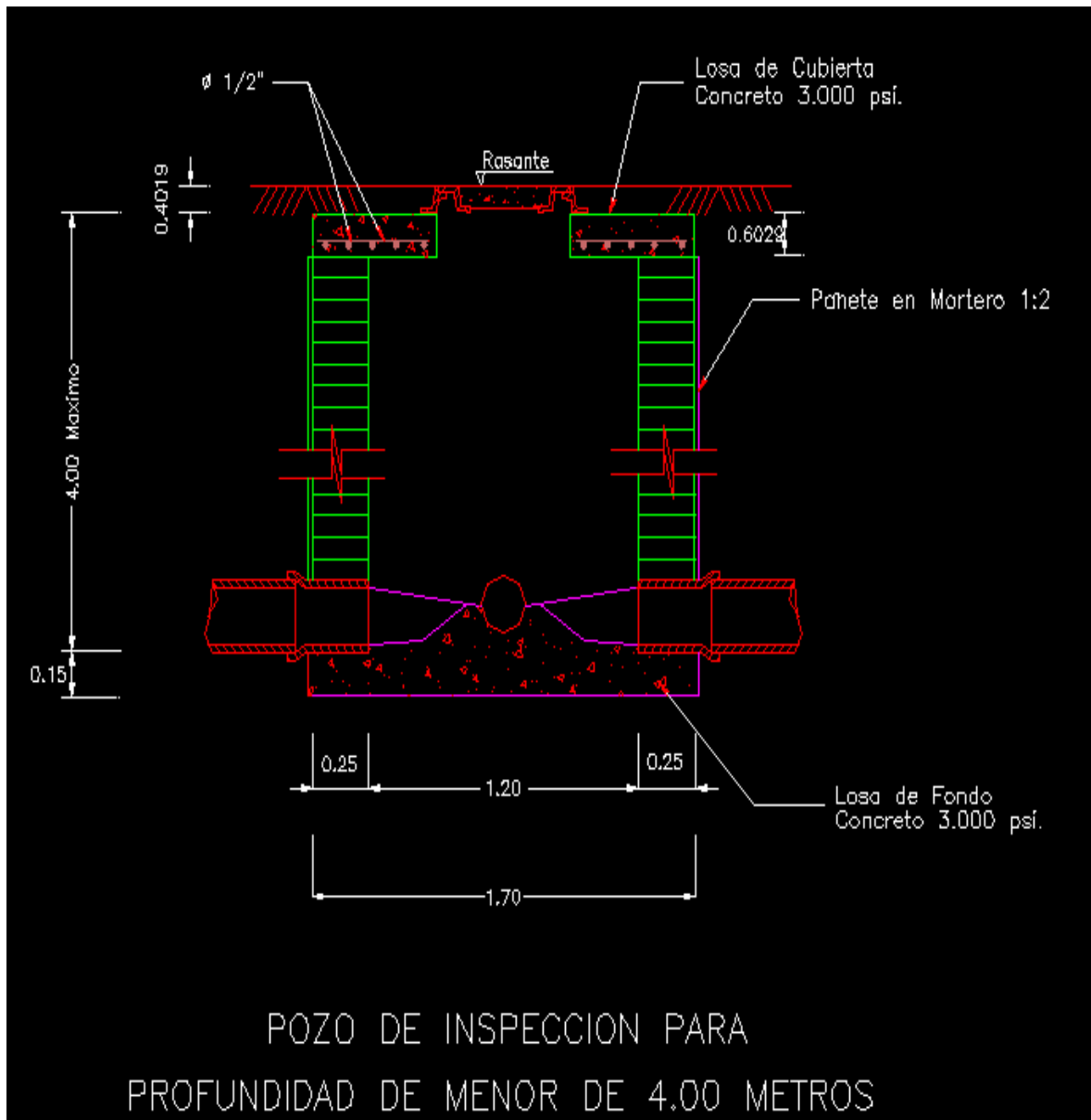
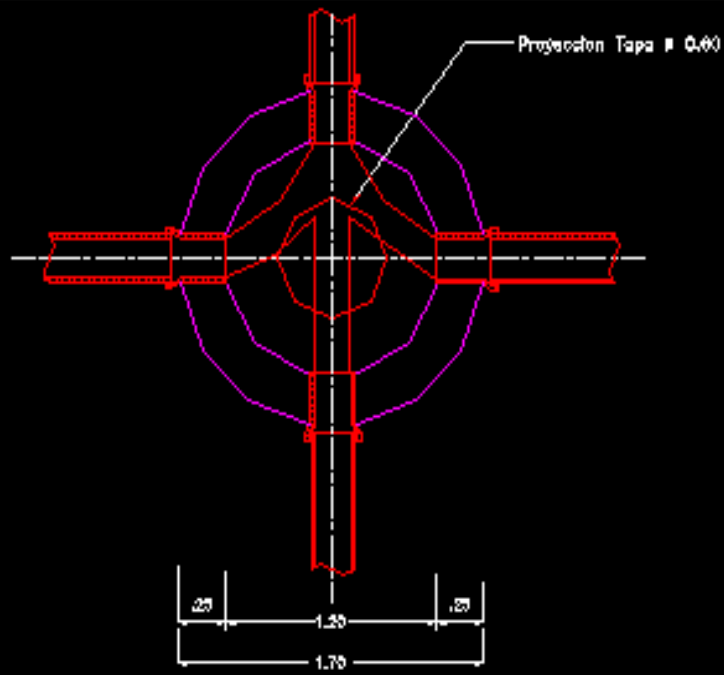
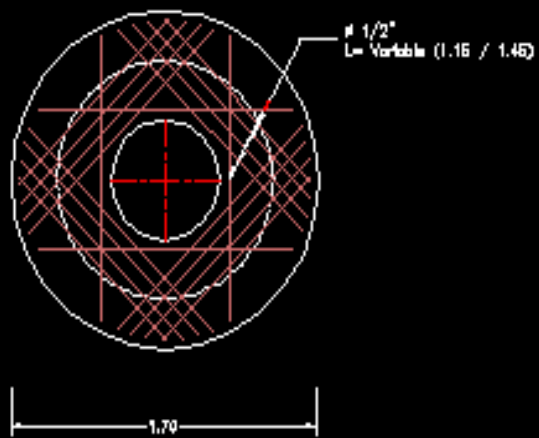


Figura No. 10 Base y cañuela pozos de inspección alturas menores o iguales 4 m

Figura No. 11
Armadura Losa Cubierta



PLANTA POZO DE INSPECCION



ARMADURA LOSA DE CUBIERTA $\neq 1.70$

Figura No. 12 Pozos de inspección alturas entre 4 y 7 metros

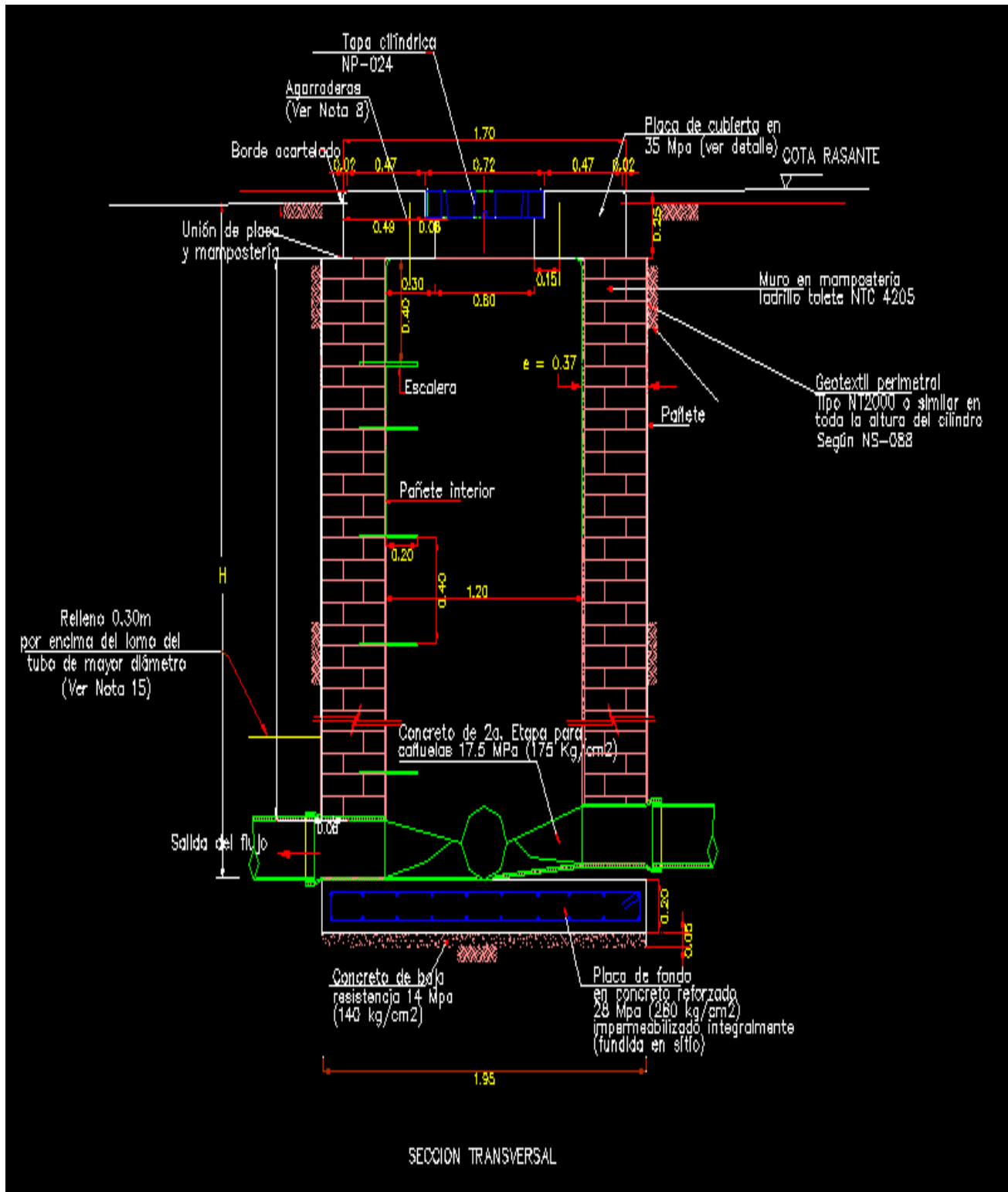
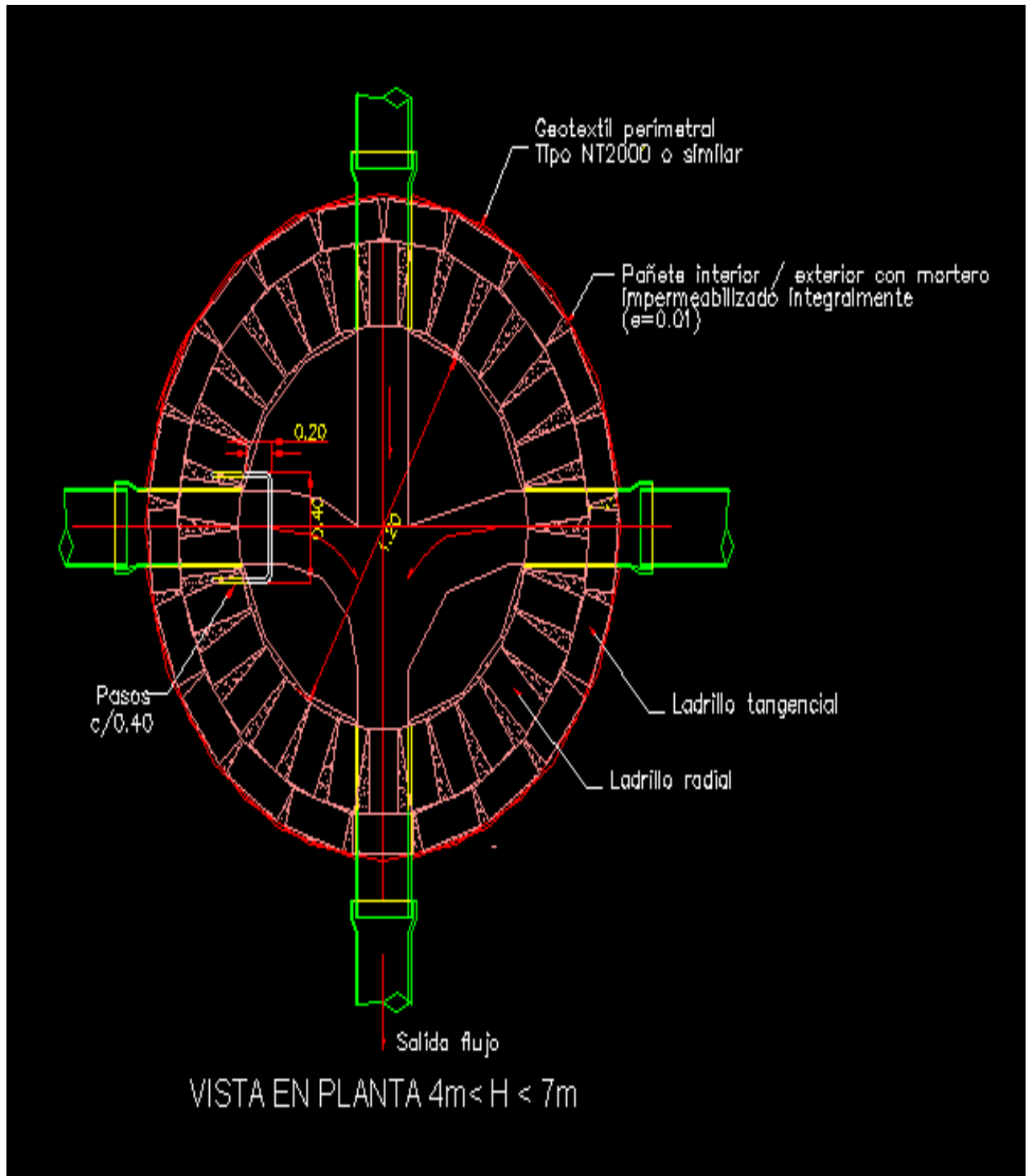


Figura No. 13 Planta de Pozos de inspección alturas entre 4 y 7 metros

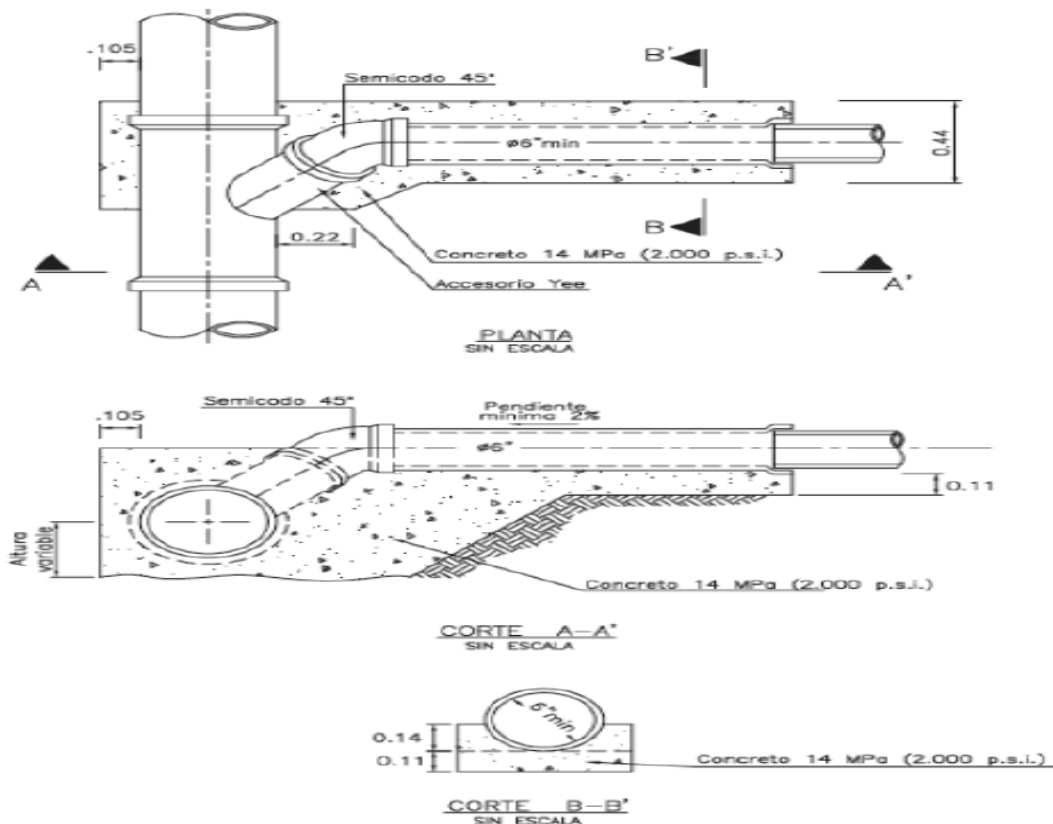


9.7 DISEÑO DE CONEXIONES DOMICILIARIAS

Las conexiones domiciliarias se conectarán directamente a los colectores o interceptores; el diámetro mínimo será de 6" y la pendiente mínima del 2%. Las conexiones se realizarán por medio de sillas yees en PVC.

La conexión intradomiciliaria debe terminar en una caja de inspección con cañuela para el agua residual, ubicada en la zona de andén, la cual tendrá dimensiones internas mínimas de 0.60m x 0.60m y una profundidad comprendida entre 0.60 m y 1.50 m (medida desde la rasante hasta la parte más baja de la cañuela en la base). La tapa de la caja de inspección será removible a nivel de superficie para permitir las labores de mantenimiento y limpieza de la conexión domiciliaria. El esquema siguiente se tomó de Latin Consult.

Figura No. 14 Detalle de conexiones domiciliarias



DISEÑO POR ETAPAS

El municipio de Tocaima en la actualidad no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales que trata los vertimientos del área urbana.

Para dar cumplimiento a la normatividad vigente el consultor recomienda una solución para el tratamiento de las aguas residuales del municipio de tipo único mediante la implementación de una PTAR, basada en el proceso de filtros percoladores, para lo cual se consideraron los siguientes parámetros de diseño:

Datos de diseño de la PTAR:

Tabla No. 16 Datos de Diseño de la PTAR

Población Futura (Hab)		Caudal Máximo Semanal		Caudal Máximo Horario		Carga per cápita	Carga diaria	DBO5
Año 2025	Año 2035	2025 (l/s)	2035 (l/s)	2025 (l/s)	2035 (l/s)			
15.662	17.156	41,46	43,7			55	943,6	250

Proceso de tratamiento adoptado

La planta de tratamiento de aguas residuales municipales utilizará los filtros percoladores como proceso de tratamiento, para ello dispondrá de dos (2) líneas de tratamiento con capacidad cada una del 50% del caudal a tratar. Cada línea de tratamiento se compondrá de filtro percolador y sedimentador secundario.

El consultor evaluó la factibilidad de realizar el diseño de varios de los componentes unitarios en etapas, el consultor ha tomado como principal condicionante el hecho de que el vertimiento de la PTAR descarga en una quebrada 500 metros antes de su desembocadura en el río Bogotá, lo cual

implica que la depuración de las aguas residuales municipales no tendrá efectos significativos en el río Bogotá, hasta que sus condiciones sanitarias no mejoren, teniendo en cuenta que esto implica obras de considerable magnitud no ejecutables a corto plazo, se considera viable ejecutar la PTAR en dos etapas, la primera consiste en construir a corto plazo el tratamiento preliminar y una vez se realice el mejoramiento del río Bogotá, se construya la siguiente etapa con horizonte de diseño al año 2035.

En el siguiente cuadro se relacionan las operaciones unitarias de la PTAR y el número de unidades a implementar en cada etapa de tratamiento:

Diseño PTAR Tocaima

Tabla 17 cuadro se relacionan las operaciones unitarias de la PTAR y el número de unidades a implementar en cada etapa de tratamiento

PROCESO UNITARIO	TIPO ESTRUCTURA	PRIMERA ETAPA (CORTO PLAZO)	SEGUNDA ETAPA AÑO 2035
Cribado	Rejillas manuales	Dos en serie, capacidad hasta el año 2035.	
Desarenado	De flujo horizontal	Dos en paralelo, con capacidad hasta el año 2035	
Aforo	Veredero Sutro	2 unidades, capacidad hasta el año 2035	
Estación elevadora del afluente	De pozo húmedo con 2 bombas + 1 de reserva		1 unidad, capacidad hasta el año 2035
Filtro percolador	Circular con medio plástico bidireccional		2 unidades, capacidad hasta el año 2035
Sedimentadores	Circular en concreto		2 unidades, capacidad hasta el año 2035
Sistema de cloración	Sistema de Cloro Gaseoso y tanque de contacto en concreto		Sistema de almacenamiento y dosificación diseñado con capacidad hasta el año 2035

			1 Tanque de contacto con capacidad hasta el año 2035
Sistema de deshidratado de lodos	Espesador de lodos mas lechos de secado		1 unidad, capacidad hasta el año 2035

Se conservan los parámetros de operación propios de este sistema y se asume que las eficiencias de remoción y funcionamiento que se obtendrán, serán las típicas logradas en este tipo de tratamiento.

9.8 DISEÑO DE PROCESOS

Tratamiento preliminar

Cribado

Las aguas residuales procedentes de la red de alcantarillado llegan a un canal rectangular que contiene unas rejillas con inclinación de 45° impidiendo el paso de sólidos de tamaño mayor a 10 mm los cuales son removidos manualmente hacia una zona de escurrimiento y posteriormente evacuados hacia la zona de disposición final. La rejilla de cribado está compuesta por barras rectangulares de 30mm x 10mm y una separación entre platinas de 10 y 25 mm, para el cribado fino y medio.

Rejillas De Cribado Medio:

Se instalarán rejillas rectangulares construidas en acero de 3/8" * 1 1/2" (10 mm x 40 mm) con separaciones de 25 mm, a una inclinación de 45 grados para limpieza manual.

Ancho de la rejilla = ancho del canal (0.40 m)

Longitud de la rejilla = $1\text{m} / \sin 45\text{grados} = 1.70\text{ m}$

Número de platinas = $1\text{ cm} \times (n+1) + 1.0\text{ cm} \times n$

N = 12 platinas.

Y por consiguiente 11 espacios.

La velocidad en la rejilla se puede hallar por medio de la siguiente expresión:

$$V_r = \frac{Q_d}{(b - n \times e) \times h}$$

Donde:

V_r = Velocidad en la rejilla (m/s)

Q_d = caudal de diseño (m³/s)

b = Ancho del canal de acceso (m)

n = número de platinas

e = Separación entre platinas (m)

h = Profundidad de la lámina de agua en el canal (m)

$V_r = 0.72\text{ m/s}$

Para los caudales esperados se cumple la norma RAS-2000, que recomienda velocidades de paso en la rejilla entre 0.60 y 1.2 m/s.

La pérdida de carga de acuerdo con la fórmula de Kirschmer es la siguiente:

$$H_f = k (e/s)^{4/3} \times \text{sen}(A) \times v^2 / 2g$$

Dónde:

V = Velocidad en la rejilla

$K = 2.42$ para barras rectangulares de caras rectas.

$A = 45$ grados Angulo con la horizontal.

(e) = 10 mm espesor de la platina en dirección del flujo.

(s) = 25 mm separación entre platinas.

Reemplazando se obtiene:

$$H_f = 1.33 \text{ cm}$$

Entonces la altura de lámina de agua, aguas arriba con condiciones de caudal máximo corresponde a 0.457 m.

Longitud del canal previo a la rejilla:

El largo del canal previo a la rejilla de cribado está dado por la siguiente ecuación.

Donde

L = Largo del canal, m

V = Velocidad en el canal en m/s

T = Tiempo de detención en el canal, usualmente 3 seg.

V = Caudal máximo / área del canal hasta el nivel máximo de agua

L = 1.03m, longitud mínima del canal.

Para el caso en particular se asume una longitud de 1.17 m.

Rejillas De Cribado Fino:

Se instalarán rejillas rectangulares construidas en acero de 3/8" * 1 1/2" (10 mm x 40 mm) con separaciones de 10 mm, a una inclinación de 45 grados para limpieza manual.

Ancho de la rejilla = ancho del canal (0.40 m)

Longitud de la rejilla = $1\text{m} / \sin 45^\circ = 1.70 \text{ m}$

Número de platinas = $1\text{cm} \times (n+1) + 1.0 \text{ cm} \times n$

N = 21 platinas.

Y por consiguiente 20 espacios.

La velocidad en la rejilla se puede hallar por medio de la siguiente expresión:

$$V_r = \frac{Q_d}{((b - n \times e) \times h)}$$

Dónde:

V_r = Velocidad en la rejilla (m/s)

Q_d = caudal de diseño (m³/s)

b = Ancho del canal de acceso (m)

n = número de platinas

e = Separación entre platinas (m)

h = Profundidad de la lámina de agua en el canal (m)

$V_r = 0.59$ m/s

Para caudales normales se cumple la norma RAS-2000, que recomienda velocidades de paso en la rejilla entre 0.60 y 1.2 m/s.

La pérdida de carga de acuerdo con la fórmula de Kirschmer es la siguiente:

$$H_f = k (e/s)^{4/3} \times \text{sen}(A) \times v^2 / 2g$$

Donde:

V = Velocidad en la rejilla

$K = 2.42$ para barras rectangulares de caras rectas.

$A = 45$ grados Angulo con la horizontal.

$(e) = 10$ mm espesor de la platina en dirección del flujo.

$(s) = 10$ mm separación entre platinas.

Reemplazando se obtiene:

$$H_f = 6.1 \text{ cm}$$

Entonces la altura de lámina de agua, aguas arriba con condiciones de caudal máximo corresponde a 0.481 m.

Longitud del canal previo a la rejilla:

El largo del canal previo a la rejilla de cribado está dado por la siguiente ecuación.

$$L = VT$$

Donde

L = Largo del canal, m

V = Velocidad en el canal en m/s

T = Tiempo de detención en el canal, usualmente 3 seg.

V = Caudal máximo / área del canal hasta el nivel máximo de agua.

L = 1.19 m, longitud mínima del canal.

Desarenador flujo horizontal por gravedad

Se proyecta una unidad compuesta por dos módulos paralelos. Cada módulo contará con compuertas en la entrada lo cual permitirá operar los desarenadores independientemente y remover las arenas sin afectar el sistema de tratamiento.

El agua que atraviesa la rejilla de cribado es conducida hacia las estructuras de desarenado conformadas por dos cámaras en paralelo de flujo horizontal donde son retenidas las partículas tamaño arena que se sedimentan a una velocidad alrededor de los 0.3 m/s. Las cámaras de desarenado consisten en canaletas de fondo rectangular, las partículas depositadas allí son

retiradas de forma manual una vez se ha drenado el exceso de agua por las tuberías dispuestas para tal fin.

Se prevé la construcción de dos desarenadores en paralelo cada uno de sección rectangular con capacidad para remover partículas de arena con densidad de 2,73 y diámetro promedio de 0.02 m, en este caso en particular, se tiene un caudal máximo de 76.29 l/s, caudal medio y mínimo. Se debe tener en cuenta que la velocidad en el desarenador se encuentra regulada por el vertedero Sutro ubicado a su salida; a continuación, se relaciona la geometría y altura de lámina de agua para los tres caudales antes mencionados:

Tabla No.18 Diseño De Desarenador

CAUDAL (l/s)		ANCHO DE CANAL (m)	ALTO (m)	V (m/s)
Mínimo	10.93	0.60	0.063	0.289
Medio	43.70	0.60	0.242	0.301
Máximo	76.29	0.60	0.420	0.303

Fuente: Estudios técnicos y construcciones LTDA

En los tres casos la velocidad es superior a 0.20 m/s que corresponde a la mínima recomendable por la Norma RAS-2000.

De acuerdo a la norma RAS-2000 se tiene que:

Carga Superficial máximo de 1600 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$

Tiempo de retención entre 20 segundos y 3 minutos

Asumiendo una longitud del desarenador de 7.00 m tenemos:

Carga Máxima Superficial = 1569.36; $\text{m}^3 / \text{m}^2 \text{ día}$; Cumple Norma RAS-2000

Tiempo de retención = 23.12 seg, Cumple Norma RAS-2000

Considerando una profundidad para los lodos de 0.20 m y un borde libre de 1.20 m, la sección del desarenador será de 0.60 x 0.42 x 7.00 m

La cantidad de material retenido suponiendo los datos de Marais (1971) es:

$$q = \frac{Q_{\max} * 75}{1000}$$

$$q = 180.44 \text{ m}^3/\text{año}$$

Entonces la periodicidad en la limpieza debe ser de:

$$P = \frac{V_{\text{util}}}{q}$$

$$P = 3.57 \text{ días}$$

La limpieza del desarenador se puede realizar cada 3 días al final del período de diseño.

Medición

El sistema de medición utilizado será un aforador tipo vertedero Sutro, la lectura de la lámina de agua se toma de una regla de medición ubicada antes del vertedero, esta lectura nos permite hallar el caudal con una fórmula sencilla y con una razonable exactitud.

El control de la velocidad para caudales en el desarenador se efectuará con un vertedero Sutro ubicado a la salida de cada uno de los desarenadores, este vertedero del tipo proporcional se rige con la siguiente ecuación:

$$X = b \left[1 - 2 / \pi \arctan(y - a)^{0,5} \right]$$

$$b = 0.433\text{m}$$

$$a = 0.010\text{m}$$

$$Y = H - a$$

X = Ancho de apertura del vertedero

H = altura de la lámina de agua

Se podrían hacer mediciones puntuales del caudal que ingresa a la planta utilizando para ello este vertedero. A continuación se anexa su ecuación de calibración:

$$Q = 2.74 (ab)^{1/2} (h - a/3)$$

$$Q = 0.075 (H - 0.002)$$

Para Q en l/s. Siendo H = lectura de mira en m.

Tanque de almacenamiento e igualación para bombeo a filtros percoladores

En este tanque se recibe las aguas residuales sin tratar, las almacena y homogeniza permitiendo contar con un suministro constante de aguas residuales para alimentar el filtro percolador, cuenta además con una intercomunicación con el tanque de recibo del efluente del filtro percolador que permite la recirculación de las aguas en depuración.

Cálculo del diámetro de la tubería de impulsión

Caudal de recirculación por filtro	41,66
Caudal medio	21,65
Cantidad de estaciones	2
Caudal por estación	20,83 l/s
Caudal medio por estación	10,72 l/s
Caudal de bombeo a cada Filtro	41,66 l/s

Cálculo del diámetro de la tubería de impulsión para el tubo de cabezal

Caudal m³/s, Q = 0,0417 m³/s

Velocidad máxima V= 1.8 m/s

$$V = Q/A$$

$$A = Q/V = 0,0231 \text{ m}^2$$

(m) (pg)

$$D = (4A / \pi)^{1/2} = 0,172 \text{ 6,76}$$

Selección del diámetro 6 pg

Velocidad en la tubería = Q/A 2,2838 m/s

Cálculo del diámetro de la tubería de salida de la bomba

Cantidad de bombas 2

Caudal de bombeo por bomba 20,83 l/s

$$Q = \text{Caudal m}^3/\text{s} = 0,0208$$

Velocidad máxima = 1,5 m/s

$$V = Q/A$$

$$A = Q/V = 0,0139 \text{ m}^2$$

(m) (pg)

$$D = (4A / \pi)^{1/2} = 0,133 \text{ 5,24}$$

Selección del diámetro 6 (pg)

Velocidad en la tubería = Q/A 1,1419 m/s

Dimensiones del pozo húmedo

El tiempo de permanencia en el pozo no debe ser mayor a 30 minutos (RAS 2000)

Tiempo total de permanencia en el pozo = Tiempo de llenado + Tiempo de vaciado =< 30 minutos.

$$T = V/Q_m + V/(Q_b - Q_m)$$

$$V = T/(1/Q_m + 1/(Q_b - Q_m))$$

Donde

T = Tiempo total de permanencia en el pozo en segundos

$$Q_m = \text{Caudal medio diario (m}^3/\text{seg)} = 0,01072 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_b = \text{Caudal de bombeo (m}^3/\text{seg)} = 0,04166 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\text{Tiempo de permanencia máximo} = 30 \text{ minutos}$$

$$\text{Tiempo de permanencia (seg)} = 1800 \text{ segundos}$$

$$V = 14,33 \text{ m}^3$$

	Diferencia niveles (estimada) mts	Área transversal m ²	Ancho del pozo m
Para un pozo de muros verticales	1,25	11	3

Sumergencia, $S=2,5D_s+0,1$

$$\text{Diámetro de succión } D_s = 8 \text{ pg}$$

$$S = \text{sumergencia} = 0,61 \text{ m}$$

$$\text{Distancia de succión al fondo, } h_f = 0,25 \text{ m}$$

$$\text{Altura del nivel mínimo de bombeo, } h_m = S + h_f$$

$$h_m = 0,86 \text{ m}$$

Asumiendo un área de 6m x 3,5m

$$\text{Ancho de pozo, } B = 3,5 \text{ m}$$

$$\text{Longitud del pozo } L = 6 \text{ m}$$

$$\text{Altura útil, } H = 1,25 \text{ m}$$

$$\text{Volumen útil} = B \cdot H \cdot L = 26,25 \text{ m}^3$$

Altura desde el fondo a nivel máximo bombas, $h = h_m + H$

$$h = 2,11 \text{ m}$$

$$\text{Diferencia total de niveles (H)} = 1,25 \text{ m}$$

$h_d =$

$$\text{Diferencia de niveles bomba 1} = H/2 = 0,625 \text{ m}$$

$$\text{Diferencia de niveles bomba 2} = H/2 = 0,625 \text{ m}$$

$$\text{Altura máxima de bombeo} = 349,96 \text{ msnm}$$

$$\text{Nivel de cota batea de entrada} = 339,50 \text{ msnm}$$

$$\text{Nivel máximo} = \text{nivel de cota batea de entrada} - 0,1 = 339,40 \text{ msnm}$$

$$\text{Nivel de fondo} = \text{Nivel de cota entrada} - h = 337,39 \text{ msnm}$$

$$\text{Mínimo nivel de bomba 1} = \text{nivel del fondo} + \text{altura de nivel mínimo} = 338,25 \text{ msnm}$$

$$\text{Nivel del terreno} = 341,5$$

$$\text{Altura estática} = \text{altura máxima de bombeo} - \text{nivel mínimo bomba 1} = 11,71 \text{ m}$$

Pérdidas en la tubería

Tabla 19

		Longitud equivalente	Longitud total
	Cantidad	(m)	(m)
Succión			
Impulsión			
Codos radio largo a 90°	4	5	20
Longitud de tubería			17
Accesorios			
1 válvula compuerta	1	2	1
1 válvula cheque	1	15	5
Te	2	12	5
Altura de velocidad $V^2/2g$			0,066
	Total		48,07

Utilizando la fórmula de Hazen-Williams

$$Q = 0,2785 \times C \times D^{2,63} \times j^{0,54}$$

Donde

C = Coeficiente de flujo Hazen-Williams

Q = Caudal en m^3 / S

Di = Diámetro interior de tubería en mts

$$j^{0,54} = Q / 0,2785 \times C \times D^{2,63} = 0,140460$$

$$j = (Q / 0,2785 \times C \times D^{2,63})^{1/0,54} = 0,0264$$

sale a los sedimentadores y el que se puede verter de nuevo al tanque para su recirculación por el filtro.

En las horas de bajo caudal, el nivel del tanque de bombeo al filtro percolador disminuye y por medio del ajuste de compuertas se ajusta el paso de agua hacia el tanque de almacenamiento para permitir el suministro de agua al filtro percolador sin variaciones para la humectación superior del medio plástico.

Filtro percolador de alta tasa

Para el diseño del sistema se utilizó la fórmula de Germain

$$S_e/S_i = e \times p \frac{(K_{20} \times H \cdot 1,035^{(T-20)})}{q^n}$$

Donde:

Se	DBO5 efluente	25mg/1
Si	DBO influente	249.60mg/1 (renovación del 5% en la rejilla)
Kc2	Coefficiente de tratabilidad	0,21
H	Profundidad del medio Filtrante	7,2m
T	Temperatura en grados Celsius	23 ⁰ C
q	Caudal agua residual sin recirculación por sección	0,26 l/m ² /s
n	Coefficiente hidráulico (medio plástico – 0,5)	0,5

$$K_{20} = K_{c20} * (6.1/H)^{0.5} * (150/S_i)^{0.5}$$

K₂₀ varía entre 0.16 y 0.22 para medio plástico 0.15

K₂₃ K corregido a temperatura ambiente 0.17

DBO ₅ a la entrada del filtro	237.12mg/l
Caudal de agua residual por cada línea (2 líneas)	45.00 l/s
Humectación para H 7.2m de altura medio flotante	0.5 l/m ² s
Caudal máximo de bombeo	90.00 l/s
Carga orgánica a remover por filtro	424.01 kg DBO ₅ por día
Remoción carga orgánica en Rejillas	5%
Carga Volumétrica	0,79 kg DBO/m ³ día
Área requerida por filtro	83,16m ²
Altura medio filtrante	7,2 m
Diámetro del tanque	10,30m
Volumen de relleno total	599,92m ³
Eficiencia	90%
Distribuidor rotatorio superior diámetro	10,3 m
Potencia	0.75 hp
Spulkraft (intensidad de dosificación)	50mm/pasaje de brazo
Intensidad de dosificación par lavado (flushing)	300mm/pasaje de brazo
Cantidad de brazos	4 un
Velocidad rotacional	0,132 RPM
Medio plástico especificado	bidireccional tipo Brentwood CFS 3000
Área superficial por volumen Brentwood	102m ² /m ³
Material	PVC
Puntos de mezcla medio plástico por metro lineal de medio	5600m ³
Soporte medio plástico	Rejillas plásticas sobre viguetas

Tiempo de retencion	4, 80 h
Carga sobre vertedero	48,86m ³ /(ml d)
Tasa desbordamiento superficial para el caudal de bombeo maximo	15,9m ³ /m ² /dia

El clarificador secundario circular será en concreto reforzado con una pendiente en el fondo del 5%. La recolección de lodos se hará por la parte inferior de cada tolva conectándose al tanque de bombeo de lodos para ser conducido a su espesamiento, estabilización y posterior deshidratación.

Estacion de bombeo de lodos a tanque espesor

Caudal de bombeo a deshidratador	l/s	0, 18
	m ³ /dia	15,18
Tiempo de acumulacion	h	12
Volumen requerido del tanque	m ³	3,80
Se toma el mayor de los dos	m ³	3, 80

Selección de dimensiones

Altura util	2,00m
Largo	1,70m
Ancho	1,70m
Distancia de la succion al fondo	0,12m
Sumergencia = 2,5 x D de succion	0,38m

Cota batea de entrada	339,5 msnm
Altura de nivel minimo = nivel maximo – altura util	337,30 msnm

Sumergencia – distribucion de succion al fondo	336,80 msnm
Altura de descarga	341,00 msnm
Volumen util real del tanque= Altura x Largo x ancho	m ³ 6,07

Bombas a espesador

Velocidad minima de bombeo de lodos	0,61 m/s	RAS E.4.6..2.6.
Diametro minimo de tuberia	4 pg	
Caudal minimo para $\Theta 4'' = 1000 \times 0,61 \times \text{Area (m)}$	4,9455 l/s	
Tiempo de bombeo = caudal a deshidratador x 24 / caudal minimo	2, 81 horas	

Calculo del diamentro de la tuberia de impulsion

Cantidad de bombas (+ 1 de reserva)	1	
Caudal de bombeo por bomba	4,95 l/s	
Q = caudal m ³ /s =	0,0049 m ³ /s	
Velocidad maxima =	1,5 m/s	
V=Q/A		
A= Q/V =	0,0033 m ²	
	(m) (pg)	
	$D = (4A/\pi)^{1/2} = 0,065$	2,55
Seleccion del diametro	4 pg	
		= >0,61m/s
Velocidad en la tuberia = Q/A	0,6100 m/s	RAS

Longitud equivalente tubería de bombeo de lodos

Tabla 21

Longitud equivalente tubería de bombeo de lodos

amo de cabezal de bombas tubería, Accesorios 4"	Cantidad (m); (und)	Long Equiv (m)	Total (m)
Tubería PVC RDE21	15		15,00
Válvula de compuerta extremo FLG,150#, ASTM A-216 WCB	2	0.6	1,2
Tee reductura, PVC RDE21	1	5	5
Codo 90º radio largo, PVC RDE21	1	3	3
Válvula de cheque extremo FLG, 150#,ASTM A-216 WCB	1	6	6
Total 4" longitud equivalente			30,2

9.9 Desinfeccion

Para eliminar los patógenos presentes en el agua residual tratada, se requiere implementar un sistema de desinfección. Para este caso se aplicara cloro gaseoso.

Tanque de contacto

Volumen requerido para 30 minutos de contacto 78,66m³

Dimensiones 2,00m * 11,10m *3,70m

Borde Libre 0,5m

La adición de cloro se hará por medio de una solución de agua más cloro gaseoso para lo cual se contará con instalaciones para almacenamiento y manipulación del cloro gaseoso y con un sistema de dosificación de cloro que permitirá su adecuada dosificación.

Para lograr una mezcla adecuada del cloro, se aplicará el mismo en una cámara de mezcla ubicada al inicio del tanque de contacto

9.9.1 Aforo del efluente

Para el aforo del caudal tratado se instalara un vertedero triangular de 60° ubicado en una caja de concreto a la salida del tanque de contacto.

$$\text{Formula } Q = \frac{8}{15} (2/g)^{1/2} * \text{Tan } \theta/2 * H^{5/2}$$

Q Caudal m³/seg

g 9,8066 m/s²

H 0,36m

9.9.2 Sistema de dosificación del desinfectante

Se utilizará cloro gaseoso con dosificación en el final de la entrada de la cámara de contacto de cloro de 5 ppm, y utilizando como caudal de diseño el caudal máximo semanal (43.7 l/s).

La bomba dosificadora es alimentada por tanques de cloro gaseoso por medio de cilindro Americano para almacenamiento y transporte de cloro de capacidad de 1000 Kg. Se utilizara un

sistema de dosificación de cloro automatizado mediante una autoválvula digital de fabricación americana.

Características Técnicas:

Sistema de dosificación de cloro gaseoso, con capacidad de 0 a 50 lbs/día

Dos (2) cilindros Americanos para almacenamiento y transporte de cloro de capacidad de 1000

Kg, fabricado en una sola pieza sin soldadura, en acero al carbón.

Viga gancho para transporte y movilización de containers de cloro (tonelada 907 Kg).

9.9.3 Equipos Para Automatización Dosificación Cloro

Autoválvula digital HYDRO INSTRUMENTS modelo WPOV-110 o similar.

Analizador de cloro residual Hydro Instruments Series RAH-210 PH o similar

Báscula para pesar dos (2) contenedores de cloro de tonelada con indicador digital.

Detector de gas cloro digital Hydro Instruments modelo GA-170-1 o similar

9.10 Presupuesto

A continuación, se presenta el resumen del presupuesto de la red de alcantarillado del Municipio de Tocaima como también los resúmenes de la Planta de Tratamiento

Red de Alcantarillado

Interceptor Principal

Tabla 22

Presupuesto

No	DESCRIPCION DE ITEMS	VALOR TOTAL
1	PRELIMINARES	\$ 5,125,160.80
2	IMPACTO URBANO	\$ 14,076,065.50
3	EXCAVACIONES	\$ 295,444,692.40
4	DEMOLICIONES	\$ 272,550.00
5	RELLENOS	\$ 271,299,700.00
6	RETIRO Y DISPOSIC. MATERIALES SOBRANTES	\$ 124,817,550.00
7	INSTALACION TUBERIAS PVC	\$ 17,786,451.80
8	REPARACION ACOMETIDAS ACUEDUCTO	\$ 233,130.00
9	POZOS INSPECCION	\$ 50,719,992.80
10	INST. ACOMETIDA DOMICILIARIA ALCANTARILLADO	\$ 463,725.00
11	EMPATES A REDES EXISTENTES	\$ 69,996.00
12	ROTURA-CONSTRUCC VÍA ANDEN PISO Y SARDIN	\$ 15,272,659.20
13	SUMINISTRO TUBERIA PVC NOVAFORT Y ACCESORIOS	\$ 164,969,873.70
14	TOTAL COSTO DIRECTO DE LA OBRA	\$ 960,551,547.00
15	AIU (35%) \$	\$ 336,193,041.00
16	TOTAL COSTO OBRA	\$ 1,296,744,588.00
17	INTERVENTORIA (10%) \$	\$ 129,674,459.00
18	TOTAL COSTO DEL PROYECTO	\$ 1,426,419,047.00

Planta de tratamiento de Aguas Residuales

Se presenta el presupuesto resumido de las obras diseñadas para la PTAR municipal

Tabla No. 23 Presupuesto detallado PTAR actual Tocaima – Etapa I año 2035

	SUBTOTAL
1. ACTIVIDADES PRELIMINARES	20.184.786,97
2. TRATAMIENTO PRELIMINAR	33.159.768,99
3. ESTACIÓN DE BOMBEO A FILTROS PERCOLADORES	162.026.721,27
4. FILTROS PERCOLADORES	260.535.585,35
5. SEDIMENTADOR	230.541.055,05
6. BOMBEO DE LODOS	44.953.703,04
7. TANQUE DE CLORACIÓN	27.737.594,19
8. CASETA DE CLORACIÓN	16.653.858,11
9 CASETA DE OPERACIÓN Y CONTROL	28.527.751,18
10. ZONAS DE CIRCULACIÓN Y ZONAS VERDES	115.257.336,24
11. SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CERRAMIENTO	121.025.564,24
12. CASETA DE CONTROL ELÉCTRICO	15.521.117,00
13. ESPESADOR DE LODOS	3.452.191,85

14. TANQUE ALCALINO	313.188,30
15. LECHOS DE SECADO	82.985.214,23
16. SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS	269.316.178,00
17. SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE TRATAMIENTO	1.783.266.855,00
18. ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA	82.614.152,00
TOTAL \$	3.298.072.622,00
AIU (35%) \$	1.154.325.418,00
INTERVENTORÍA (10%) \$	445.239.804,00
VALOR TOTAL OBRA \$	4.897.637.844,00

El presupuesto detallado y los análisis de precios unitarios correspondientes se encuentran en los anexos.

10 Conclusiones

- La planta de tratamiento de aguas residuales es importante para poder oxigenar el río Bogotá y darle calidad de vida a las personas que viven en las zonas aledañas de río.
- Realizando el diagnóstico del sitio de desaguade las aguas residuales y del sitio de la posible construcción, con apoyo de la Car se determinó que era viable para su construcción.
- Al realizar los estudios topográficos, se determinó el sitio adecuado para la construcción de la planta
- Esta planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), es una obra importante para el municipio, sus habitantes y el medio ambiente, proyecto que desde mi administración voy a ser realidad.

11 Referencias Bibliográficas

- Historia de la PTAR Salitre (S.F). Empresa de Acueducto y alcantarillado de Bogotá.
<https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/ambiente/saneamiento/rio-bogota/ptar-salitre/historia-de-la-ptar-salitre>
- Siete de cada diez municipios no tratan sus aguas residuales (2017, marzo 22), El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/tratamiento-de-aguas-residuales-en-colombia-69962>
- Morillo, A. (2017), Aguas Negras, el rastro de nuestra historia.
https://www.wearewater.org/es/aguas-negras-el-rastro-de-nuestra-historia_281141
- Pineda L; 2017; Diagnostico de una planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Tunja Boyacá. (Trabajo de grado, Universidad Católica). Repositorio institucional Universidad Católica.
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14554/1/Diagnostico%20de%20la%20planta%20de%20tratamiento%20de%20agua%20PTAR%20residual%20de%20Tunja%20-%20Boyac%C3%A1.pdf>
- Wiki. (2007). Ingeniería de aguas residuales.
<https://elibro.net/es/lc/uniminuto/titulos/35813>,
- Normas de ubicación de sistemas de tratamiento de aguas residuales. (La Gaceta No. 178, miércoles 16 de setiembre de 1992), No. 21518-S.
<https://www.geosalud.com/leyes/tx.aguas.residuales.htm>
- El Tiempo. (16 de marzo 1996). Tocaima mantiene sitio de honor en la historia
<https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-335088>
- Alcaldía de Tocaima. (2020) Plan de desarrollo futuro en Marcha
https://issuu.com/contactenostocaimacundinamarca/docs/31583_plan-de-desarrollo--futuro-en-marcha-2020202

Anexos

1. Presupuesto detallado