

DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL LA
CARBONERA, EN EL MUNICIPIO DE LA MESA, DEPARTAMENTO DE
CUNDINAMARCA

SEBASTIÁN NORBERTO CAMACHO CÁRDENAS

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C

2019

DIAGNÓSTICO PTAR LA CARBONERA, LA MESA CUNDINAMARCA

DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL LA
CARBONERA, EN EL MUNICIPIO DE LA MESA, DEPARTAMENTO DE
CUNDINAMARCA

SEBASTIÁN NORBERTO CAMACHO CÁRDENAS

Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Civil

Director: JORGE HUMBERTO BENAVIDES SANTAMARÍA

Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C

2019

CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
Introducción	1
Título.....	2
Formulación del problema	2
Descripción detallada del proyecto	4
Justificación	4
Objetivo.....	5
Objetivo general	5
Objetivo específico.....	5
Antecedentes históricos	6
Marco de referencia	8
Marco teórico	8
Información general del municipio de La Mesa.....	8
Estado del arte	9
Referencia teórica	10
Marco conceptual	16
Sistemas de tratamiento.....	20
Recursos para ejecutar el trabajo de grado	25
Materiales.....	25
Institucionales.....	25
Financieros	25
Metodología	27
Flujograma	30
Cronograma.....	31
CAPÍTULO II	32
Resultados.....	32
Conclusiones.....	81
Recomendaciones	83
Referencias.....	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa región del Tequendama - Ubicación Municipio de La Mesa	8
Figura 2. Ubicación Mojones.....	32
Figura 3. Plano topográfico – AutoCAD	33
Figura 4. Georeferenciación Google Earth	34
Figura 5. Coordenadas en grados minutos y segundos “Geográficas”	34
Figura 6. Conversión de coordenadas geográficas a Gauss - Kruger	35
Figura 7. Georeferenciación.....	36
Figura 8. Digitalización PTAR La Carbonera ArcMap.....	37
Figura 9. Pretratamiento.....	38
Figura 10. Fotografía cámara de llegada.....	39
Figura 11. Fotografía canal de cribado	39
Figura 12. Fotografía desarenador	40
Figura 13. Fotografía canaleta Parshall	41
Figura 14. Fotografía cámara repartidora	41
Figura 15. Fotografía tanque de aireación	42
Figura 16. Fotografía sopladores de aire.....	43
Figura 17. Fotografía sistema de difusión de aire de burbuja fina.....	43
Figura 18. Fotografía tanque clarificador	44
Figura 19. Fotografía filtros	45
Figura 20. Fotografía bombas RAS - WAS	46
Figura 21. Fotografía filtro de banda hidráulica	46
Figura 22. Fotografía almacenamiento de lodos deshidratados.....	47
Figura 23. Canaleta Parshall	58
Figura 24. pH vs Tiempo	66
Figura 25. Caudal vs Tiempo.....	67
Figura 26. Temperatura vs Tiempo.....	67
Figura 27. Rombo de seguridad	71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características para aguas residuales domesticas	10
Tabla 2. Parámetros que deben medirse para una muestra compuesta	12
Tabla 3. Comparación de tecnologías de tratamiento	14
Tabla 4. Características de los procesos de lodos activados	23
Tabla 5. Flujograma de actividades	30
Tabla 6. Cronograma de actividades.....	31
Tabla 7. Coordenadas GPS	33
Tabla 8. Coordenadas obtenidas en Google Earth	35
Tabla 9. Coordenadas de referencia.....	36
Tabla 10. Censos realizados por el DANE	47
Tabla 11. Resultados tasa de crecimiento de la población para cada par de censos.....	48
Tabla 12. Resultados proyección de población método exponencial	49
Tabla 13. Dotación neta máxima	50
Tabla 14. Caudal medio diario y máximo horario	52
Tabla 15. Verificación parámetros de diseño (Cribado).....	55
Tabla 16. Verificación parámetros de diseño (Desarenador).....	57
Tabla 17. Verificación parámetros de diseño (Canaleta Parshall).....	59
Tabla 18. Verificación parámetros de diseño (Tanque de aireación)	60
Tabla 19. Verificación parámetros mediante caudales proyectados (Tanque de Aireación)...	61
Tabla 20. Verificación parámetros de diseño (Clarificador)	62
Tabla 21. Verificación parámetros mediante caudales proyectados (Tanque clarificador).....	63
Tabla 22. Parámetros de control 26/05/2017	65
Tabla 23. Mediciones in situ	66
Tabla 24. Parámetros de control 3/05/2018	67
Tabla 25. Comparación eficiencia	68
Tabla 26. Riesgos en una PTAR	70
Tabla 27. Sustancias químicas utilizadas.....	71
Tabla 28. Consideraciones de diseño.....	73
Tabla 29. Monitoreo frecuente.....	74
Tabla 30. Tarjeta de mantenimiento bomba sumergible.....	76
Tabla 31. Tarjeta de mantenimiento bomba RAS.....	77
Tabla 32. Tarjeta de mantenimiento bomba WAS.....	78
Tabla 33. Tarjeta de mantenimiento sopladores	79
Tabla 34. Tarjeta de mantenimiento banda de deshidratación de lodos	80

CAPÍTULO I

Introducción

Para los seres humanos es indispensable el agua, por lo que se ha convertido en una necesidad la implementación de alternativas las cuales mitiguen el impacto ambiental y esta sea segura para los ecosistemas, especies endémicas y los seres humanos. Por esta razón en el 2010 la Asamblea General de la Naciones Unidas mediante la Resolución 64/292 estableció claramente el derecho al agua potable y al saneamiento, siendo estos esenciales no solo para el desarrollo sostenible más aun para la realización de todos los derechos humanos.

Dicho lo anterior, En algunos departamentos de Colombia las poblaciones en especial las de bajos recursos no cumplen con lo establecido por esta resolución y descargan en las calles, ríos y quebradas los desechos domésticos, industriales y agrícolas.

En vista de estos daños ambientales La Empresa Regional Aguas del Tequendama (ERAT S.A. E.S.P) ha realizado labores de Acueducto y Alcantarillado en el Municipio de La Mesa, Cundinamarca, buscando siempre mejorar la eficiencia en el tratamiento, la modernización de sus equipos y el aumento de cobertura. Por esta razón La Empresa Regional Aguas del Tequendama en convenio con la Universidad Santo Tomás, sede Bogotá, acuerdan elaborar una serie de estudios, dentro de los cuales se encuentra el de realizar un diagnóstico técnico de la planta de tratamiento de agua residual La Carbonera proyectada para el año 2035.

En consecuencia, el presente proyecto de grado realizara una propuesta de un diagnóstico de la PTAR, el cual está comprendido por: la parte operativa línea de aguas y línea de lodos, levantamiento topográfico de la infraestructura de la planta además de un inventario de equipos electromecánicos, esto con el fin de suministrar planos topográficos, georeferenciación y un manual de mantenimiento para el buen funcionamiento de la planta.

Este levantamiento de información resulta necesario para los requisitos técnicos que se deben cumplir de rehabilitación o diseño y construcción, mantenimiento y rehabilitación, además de límites máximos permisibles de los vertimientos a aguas superficiales según lo establecido en la Resolución 0631 de 2015.

Título

Diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual La Carbonera, en el Municipio de La Mesa, Departamento de Cundinamarca.

Formulación del problema

La Empresa Regional Aguas del Tequendama de la Mesa, Cundinamarca (ERAT S.A. E.S.P), cuenta con una planta de tratamientos de agua residual en la vereda Hato Norte denominada La Carbonera.

En el año 2009 la Corporación Autónoma Regional CAR de Cundinamarca y la firma LATIN CONSULT mediante un estudio realizado afirmaron que el sistema de tratamiento de aguas residuales no cumplía con la minimización del impacto ambiental, por esta razón se planteó un “sistema de tratamiento de aguas residuales correspondiente al tipo biológico aeróbico de cultivo suspendido por lodos activados en modalidad aireación extendida” (ERAT S.A. E.S.P. Empresa Regional Aguas del Tequendama, 2012, p. 7), el cual consta de 3 etapas con el objeto de aumentar la cobertura de tratamiento y así mismo asegurar la mitigación de daños ambientales.

En el año 2013(primer etapa) se realizó la construcción de la:

“línea de aguas, comprendida por procesos unitarios como: Tratamiento preliminar, estanque de aireación, clarificador secundario, recirculación de lodos biológicos, bombeo de lodos biológicos en exceso y desinfección. Así mismo la línea de lodos comprendida por: Deshidratación mecanizada de lodos estabilizados por filtración mecánica la cual está apoyada por químicos y el almacenaje y carguío de lodos deshidratados” (ERAT S.A. E.S.P. Empresa Regional Aguas del Tequendama, 2012, p. 7).

Dado a lo anterior y en busca de garantizar el buen funcionamiento de la primera etapa se realizará un diagnóstico a partir de ensayos de laboratorio de clarificación del agua permitiendo dar a conocer el estado actual de la planta.

Para continuar con el proceso de ampliación de la cobertura en la ejecución de la segunda etapa (Año 2025) y la etapa final (Año 2035) se requiere realizar un levantamiento topográfico de las unidades ya existentes y así mismo sus respectivos planos topográficos y la georreferenciación en un sistema de información geográfico SIG – ArcGIS.

Actualmente las operaciones de la planta se realizan con equipos electromecánicos los cuales permiten una operación totalmente sistematizada.

Sin embargo, los constantes cortes de luz en la población generan afectaciones en su operación, es por esta razón que se desarrollará un manual de mantenimiento de los equipos que permitirá la continuidad del funcionamiento de la primera etapa y posteriormente la segunda y tercera etapa (Galeano, 2018).

Descripción detallada del proyecto

El proyecto se realiza para mejorar el funcionamiento operacional de la planta de tratamiento de agua residual La Carbonera, que tiene un diseño clásico de tratamiento por lodos activados con aireación extendida. El diagnóstico comprende: la parte operativa línea de aguas y línea de lodos, levantamiento topográfico de la infraestructura de la planta además de un inventario de equipos electromecánicos, esto con el fin de suministrar planos topográficos, georeferenciación, optimización del proceso de Clarificación y un manual de mantenimiento para el buen funcionamiento de la planta.

Justificación

La empresa de servicios públicos ERAT - Empresa Regional Aguas del Tequendama hizo un convenio con la Universidad Santo Tomás, acordando entre otros temas, realizar un diagnóstico de las diferentes plantas de tratamiento de agua potable y residual con que cuenta los municipios de La Mesa y Anapoima. Para el caso particular surgió la necesidad de un diagnóstico de una de las plantas de tratamiento de agua residual del municipio de La Mesa Cundinamarca. Este requerimiento incluye realizar ensayos de laboratorio que indiquen la eficiencia en el tratamiento del agua.

Adicionalmente el levantamiento topográfico para la ejecución de la etapa dos y tres que comprenden: la localización de cada unidad del proceso y su respectivo equipo electromecánico con el fin de aumentar la cobertura del tratamiento de los vertimientos.

Finalmente, de acuerdo con los constantes cortes de luz se requiere orientar a la planta para realizar el mantenimiento de los equipos logrando un buen funcionamiento de esta, razón por

la cual se requiere la construcción de un manual que detalle el proceso de mantenimiento en los equipos que funcionan en la planta.

Objetivo

Objetivo general

- Presentar el diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual La Carbonera construida en el Municipio de la Mesa Cundinamarca y elaborar un manual de mantenimiento de los equipos para mejorar el funcionamiento.

Objetivo específico

- Establecer la línea de funcionamiento a fin de recopilar información técnica de los procesos y equipos, para la realización del diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual.
- Verificar mediante la resolución 0330 de 2017 y la literatura, si las estructuras de tratamiento por lodos activados cumplen con los parámetros mínimos exigidos.
- Presentar el perfil hidráulico de funcionamiento y operación de la PTAR
- Analizar muestras en la entrada y salida de la planta de tratamiento de agua residual con el fin de determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para establecer la eficiencia de tratamiento de la planta.
- Realizar plano topográfico a partir de la digitalización de la infraestructura y georeferenciar la planta en un sistema de información geográfico SIG-ArcGIS.
- Desarrollar un manual que permita la orientación para el mantenimiento de los equipos electromecánicos de la planta.

Antecedentes históricos

El municipio de La Mesa Cundinamarca posee desde el 2013 La Planta de Tratamiento de Agua Residual La Carbonera, luego de la solicitud realizada por la alcaldía municipal y la Corporación Autónoma Regional CAR de Cundinamarca a la firma LATIN CONSULT que realizó un estudio en el 2009 en el cual determinó que “el plan maestro del Municipio no cumplía con las expectativas de tratabilidad y minimización del impacto ambiental en pro de disminuir la contaminación en el río Bogotá” (ERAT S.A. E.S.P. Empresa Regional Aguas del Tequendama, 2012, p. 7).

En el 2009 La Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A E.S.P ERAT entra como operador de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo de los Municipios de La Mesa y Anapoima, (Periodismo publico.com, 2013), “Cuenta con 3 plantas de tratamiento (La Mesa, La Chica, El Río) y 3 plantas de tratamiento de agua residual (Las Villas, La Quijana, La Carbonera, Anapoima)” (ERAT S.A. E.S.P. Empresa Regional Aguas del Tequendama, 2016).

Mediante la resolución 2398 del 15 de septiembre de 2011 la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca aprueba el plan de saneamiento y manejo de vertimientos PSMV. El plan contempla la disminución de los vertimientos y de la carga orgánica en un periodo de 20 años a partir de la fecha de aprobación del PSMV.

“En el 2013 se inicia la construcción de la primera fase de la planta de tratamiento de agua residual La Carbonera por un valor de 2’770.037.837 millones de pesos” (issuu, 2013), Como resultado de los estudios y diseños presentados por el municipio:

DIAGNÓSTICO PTAR LA CARBONERA, LA MESA CUNDINAMARCA

La planta tiene un diseño clásico de tratamiento por lodos activados en aireación extendida, cuenta con una línea de aguas (Tratamiento preliminar, Estanque de aireación, clarificador secundario, recirculación de lodos biológicos, bombeo de lodos biológicos en exceso y desinfección que se realizará en la segunda etapa) y Línea de lodos (Deshidratación mecanizada de lodos y almacenaje y carguío de lodos deshidratados) (ERAT S.A. E.S.P. Empresa Regional Aguas del Tequendama, 2012, p. 7).

Actualmente la planta cuenta con:

Sistema de alcantarillado de tipo combinado y sus tres fuentes principales receptoras de vertimientos son la PTAR La Quijana donde llega el 35.6% de los vertimientos descargados por el alcantarillado, la PTAR La Carbonera donde llega el otro 60% y la PTAR Las Villas donde llega el 4.4% de los vertimientos, El alcantarillado cuenta con 17 km de tubería y 433 pozos de inspección y tiene una cobertura aproximadamente del 96% de la población (issuu, 2013).

Marco de referencia

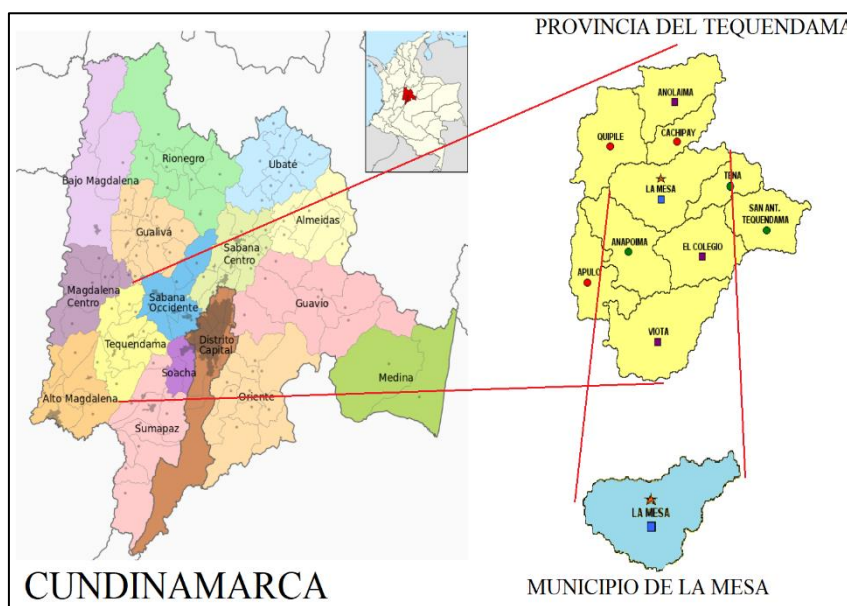
Marco teórico

Información general del municipio de La Mesa

El municipio de La Mesa está ubicado en el Departamento de Cundinamarca a 65 km de la capital de la República Bogotá. Cuenta con una extensión total de 148 km² de la cual 2.72 km² corresponden al área urbana y 145,28 km² área rural, la altitud de la cabecera municipal es de aproximadamente 1200 msnm y con una temperatura media de 22°C. (Alcaldía de La Mesa - Cundinamarca, 2012)

El municipio cuenta con 20 barrios en el sector urbano, 3 inspecciones (San Joaquín - 10 veredas, San Javier - 7 veredas y La Esperanza - 8 veredas), limita al norte con los municipios de Quipile, Cachipay y Zipacón, por el este con Bojacá y Tena, por el sur con El Colegio y Anapoima y por el oeste con Anapoima y Quipile. (Alcaldía de La Mesa - Cundinamarca, 2012)

Figura 1.
Mapa región del Tequendama - Ubicación Municipio de La Mesa



Nota. Ubicación municipio de la Mesa, Departamento de Cundinamarca. Recuperado de la página web alcaldía

En el 2005 el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), determinó una población total de 27.165 habitantes con una proyección poblacional hasta el 2020 de 33.718 habitantes, de los cuales 19076 están ubicados en la cabecera y 14642 en el resto del municipio (DANE, 2005).

Estado del arte

Las aguas residuales también llamadas aguas negras provienen luego del uso de actividades domésticas, agrícolas o industriales. Estas aguas deben ser conducidas a una planta de tratamiento y posteriormente ser llevadas a un afluente con el fin de minimizar el impacto ambiental, esto debido a los elementos contaminantes que producen un daño ecológico en el medio ambiente y afectaciones a la salud pública, Jairo romero (2010) cita en su texto Tratamiento de Aguas Residuales que “Las aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana. El tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales supone el conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas” (p.17).

Por lo cual se debe realizar un diagnóstico que permita determinar el estado actual de la planta de tratamiento, con el objeto de determinar la eficiencia con la cual está tratando los vertimientos que posteriormente son depositados en el afluente.

En Colombia el 70% de los municipios del país no cuentan con plantas de tratamiento de agua residual (Moreno, 2017), que minimicen el impacto ambiental de las aguas residuales domésticas y no domésticas, por esta razón Hans Fandiño recomienda realizar por parte de los entes municipales la gestión para el otorgamiento del permiso de vertimientos y de ocupación del cauce ante la autoridad ambiental competente, de igual manera determina que para el buen funcionamiento de la planta se recomienda realizar chequeos diarios y semanales del caudal de

entrada y de salida para verificar el cumplimiento de la resolución 0631 de 2015 (Fandiño, 2017, p. 54).

La recolección de muestras también tiene como objeto determinar los parámetros de remoción físico, químicos y microbiológicos del agua, de tal forma que el personal de operación de la planta al realizar actividades de supervisión y de mantenimiento pueda tener un control de los vertimientos, por tal motivo Natalia Fernández e Iván Patiño determinan que al mejorar las condiciones físicas y operativas de la planta se puede aumentar en un 65% la remoción de los agentes contaminantes en el agua. (Fernandez y Patiño, 2015, p. 69)

En conclusión, una vez evaluado el funcionamiento de la PTAP se determina si el sistema de tratamiento cumple con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos por la resolución 0631 de 2015 donde se establecen los parámetros máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales.

Referencia teórica

Caracterización

Línea base de caracterización del agua residual cruda. “Se entiende como línea base para considerar que un agua residual posee características típicas domésticas aquellas que tengan los siguientes valores” (Ministerio de Vivienda, 2017)

Tabla 1.
Características para aguas residuales domésticas

Parámetros	Intervalo	Valor Sugerido
DBO 5 días, 20°C, g/hab/día	25-80	50
Sólidos en suspensión, g/hab/día	30-100	50
NH ₃ -N como N, g/hab/día	7,4-11	8,4
N Kjeldahl total como N, g/hab/día	9,3-13,7	12
Coliformes totales, #/hab/día	2x10 ⁸ - 2x10 ¹¹	2x10 ¹¹

Nota. Características generales de agua residual doméstica. Adaptado de “Resolución 0330 de 2017” Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. PAGINA 106 – 0330 DE 2017

Recolección y preservación de muestras.

De acuerdo con el reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable y Saneamiento Básico se estable que:

Las muestras recolectadas en campo deben formar una representación precisa del material del que se está haciendo el muestreo, debido a esto deben ser obtenidas, conservadas, transportadas y almacenadas de tal forma que cuando sea transportada al laboratorio todavía sea representativas del material existente en campo” (Ministerio de Desarrollo economico D. D.,2010, p. 24).

Muestra simple. Sólo representa la composición del agua para ese tiempo y lugar específicos. Dicha muestra puede ser representativa de espacios y tiempos mayores si se sabe con anterioridad que la composición es constante en el tiempo y que no existen gradientes de concentración espaciales. Se usan para:

- Determinar las características de descargas instantáneas, transientes y para identificar la fuente y evaluar los efectos potenciales en los procesos de tratamiento, estudiar variaciones y extremos en un flujo de desechos en determinado periodo y Determinar si los componentes por analizar son inestables o no pueden ser preservados (Ministerio de Desarrollo economico D. D.,2010, p. 17).

Muestra compuesta. Las muestras compuestas son la mezcla de varias muestras simples recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos. La mezcla se hace sin tener en cuenta el caudal en el momento de la toma.

*Tabla 2.
Parámetros que deben medirse para una muestra compuesta*

Nivel	Parámetros
Bajo	DBO ₅ total y soluble, sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables, DQO soluble y total, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo (soluble y particulado).
Medio	DBO ₅ total y soluble, sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables, DQO soluble y total, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo (soluble y particulado).
Medio Alto	DBO ₅ total y soluble, sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables, DQO soluble y total, fósforo (soluble y particulado), aceites, detergentes, grasas y nitrógeno total Kjeldahl.
Alto	DBO ₅ total y soluble, sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables, DQO soluble y total, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo (soluble y particulado), aceites y grasas, fósforo, metales pesados: Cd, Pb, Cr, Ni, Zn, Hg, Cu, Ag, y sustancias orgánicas volátiles, cloruros, detergentes

Nota. Parámetros que deben medirse dependiendo del requerimiento en muestreos compuestos. Adaptado de Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS”. Título E – Tratamiento de aguas residuales.

Metodología de aforo. Se recomiendan las siguientes metodologías de aforo para la elaboración de muestreos compuesto. Anemómetros (Molinete)

- Vertederos
- Tubo Pitot
- Volumétrico

Equipos electrónicos de aforo

Rótulos de muestras. Deben usarse etiquetas para evitar la confusión de muestras. La cinta de enmascarar es adecuada para este propósito. En la etiqueta debe incluirse la siguiente información:

- Número de la muestra
- Nombre del colector
- Fecha y hora del muestreo
- Localización del punto de muestreo

Transporte de la muestra. La muestra debe ser transportada al laboratorio lo más pronto posible.

Método de muestreo.

- **Método Manual:** No se realiza con equipos.
- **Método automático:** Los muestreadores automáticos pueden eliminar los errores humanos introducidos en el muestreo manual.

Recipientes para la muestra. El tipo de recipiente usado para tomar la muestra es de vital importancia porque pueden existir intercambios iónicos con las paredes del recipiente o producirse una adsorción sobre estas. Los recipientes por lo general están hechos de plástico y de vidrio, teniendo cada uno un uso específico.

Parámetros mínimos de calidad del agua que deben medirse

Ver Anexo 1.

Eficiencia de los procesos de tratamiento

De acuerdo con la eficiencia necesaria del tratamiento existen rangos de eficiencia que se deben lograr en los procesos de tratamiento (Ministerio de Vivienda, 2017, p. 115). **Ver Anexo 2.**

Comparativo de tecnologías de tratamiento biológico en aguas residuales.

Tabla 3.
Comparación de tecnologías de tratamiento

Tecnología	Aplicaciones	Ventajas	Desventajas
Lodos activados	Baja concentración en compuestos orgánicos e inorgánicos	Extracción de los componentes disueltos, bajos costos de mantenimiento, procesos de tratamiento con gastos relativamente bajos	Altos costos energéticos, cambios estacionales, emisiones volátiles de lodos
Filtros de percolación y reactores de membrana fija	Baja concentración en compuestos orgánicos e inorgánicos	Extracción de los componentes disueltos, bajos costos de mantenimiento, procesos de tratamiento con gastos relativamente bajos, reduce la generación de lodos	Altos costos energéticos, Toxinas susceptibles a variaciones estacionales, Emisiones volátiles, altos costos de funcionamiento
Lagunas de estabilización y lagunas de oxidación.	Baja concentración en compuestos orgánicos e inorgánicos	Extracción de los componentes disueltos, bajos costos de mantenimiento, procesos de tratamiento con gastos relativamente bajos, reduce la generación de lodos, bajos costos energéticos, Fácil operación	Sin control operacional, Emisiones volátiles, Alta exigencia del terreno
Degradación anaeróbica	Baja concentración en compuestos orgánicos, Cloración en compuestos orgánicos e inorgánicos	Extracción de los componentes disueltos, tratamiento de los residuos clorados, generación de metano, reduce la generación de lodos	Emisiones volátiles, Cambios estacionales, procesos de tratamiento con gastos relativamente altos, altos costos de funcionamiento

Nota. Aplicaciones, ventajas y desventajas de los diferentes tipos de tratamiento para agua residual doméstica. Adaptado de Dartmouth College.

Topografía

Según Gonzalo Jiménez (2007) en su texto Topografía para Ingenieros Civiles cita que:

la topografía es una ciencia aplicada que, a partir de principios, métodos y con la ayuda de instrumentos permite representar gráficamente las formas naturales y artificiales que se encuentran sobre una parte de la superficie terrestre, como también determinar la posición relativa o absoluta de puntos sobre la Tierra. (p. 3)

Levantamiento topográfico. Contiene la proyección de los puntos de terreno sobre un plano horizontal, ofreciendo una visión en planta del sitio levantado. El levantamiento consiste en la toma o captura de los datos que conducirán a la elaboración de un plano.

ArcGIS

Los Ingenieros Puerta, Rengifo y Bravo (2011) afirman en el texto ArcGIS Básico 10: que ArcGIS es un sistema de información geográfica (SIG), el cual posee una interface gráfica de usuario, de manejo sencillo con el ratón, posibilita cargar con facilidad datos espaciales y tabúlales para ser mostrados en forma de mapas, tablas y gráficos, también provee las herramientas necesarias para consultar y analizar los datos y presentar los resultados como mapas con calidad de presentación (p. 14-17).

Formato de almacenamiento de datos espaciales. Se puede trabajar con dos tipos de almacenamiento

- **Raster** Es un archivo de imagen que captura información mediante scanner, satélite, fotografía aérea, cámaras de video entre otros, este modelo está orientado en representar fenómenos tradicionales geográficos que tienen una variación continua en el espacio.

- **Vectorial** Es un archivo que puede ser creado a partir de fuentes de información espacial existentes, o puede ser generado desde ArcGIS donde se puede añadir diferentes elementos de cobertura.

Sistema de coordenadas. Cualquier sistema mediante el cual podamos determinar la situación de un punto de la superficie terrestre sobre un sistema de líneas que se cortan constituyen lo que se denomina un sistema de coordenadas.

ArcCatalog. Es un módulo que permite administrar los archivos SIG, su interfaz proporciona un conjunto de funciones que facilitan la visualización, administración de los datos geográficos.

Georeferenciación de imágenes. El término Georeferenciación tiene relación con la localización de una imagen ráster o archivo vectorial en el espacio, definida por un sistema conocido de referenciación de coordenadas. Georeferenciación puede ser usada para convertir el sistema de coordenadas de una imagen (fila y columna) al sistema de una capa vectorial o puntos de control obtenidos por GPS.

Marco conceptual

A continuación, se muestran las definiciones de los conceptos que se manejarán a lo largo del proyecto, según el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento básico RAS 2000 Título E.

Acidez. Capacidad de una solución acuosa para reaccionar con iones hidroxilo. Se mide cuantitativamente por titulación con una solución alcalina normalizada y se expresa usualmente en términos de mg/l como carbonato de calcio.

Afluente. Agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento.

Aguas crudas. Aguas residuales que no han sido tratadas.

Aguas residuales municipales. Agua residual de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos.

Aguas residuales. Agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria.

Aguas servidas. Aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales.

Aireación. Proceso de transferencia de masa, generalmente referido a la transferencia de oxígeno al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).

Ambiente aerobio. Proceso que requiere o no es destruido por la presencia de oxígeno.

Ambiente anaerobio. Proceso desarrollado en ausencia de oxígeno molecular.

Bacteria. Grupo de organismos microscópicos unicelulares, rígidos carentes de clorofila, que desempeñan una serie de procesos de tratamiento que incluyen oxidación biológica, fermentaciones, digestión, nitrificación y desnitrificación.

Carga de diseño. Producto del caudal por la concentración de un parámetro específico; se usa para dimensionar un proceso de tratamiento, en condiciones aceptables de operación. Tiene unidades de masa por unidad de tiempo, (M/T).

Carga orgánica. Producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día (kg/d).

Clarificador. Tanque de sedimentación rectangular o circular usado para remover sólidos sedimentables del agua residual.

Cloración. Aplicación de cloro, o compuestos de cloro, al agua residual para desinfección; en algunos casos se emplea para oxidación química o control de olores.

Coliformes. Bacterias gram negativas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35 o 37°C (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a la temperatura de 44 o 44.5°C se denominan coliformes fecales. Se utilizan como indicadores de contaminación biológica.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) ó Demanda de oxígeno. Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.

Desarenadores. Cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena).

Deshidratación de lodos. Proceso de remoción del agua de lodos hasta formar una pasta.

Desinfección. Destrucción de bacterias y virus de origen fecal en las aguas residuales, mediante un agente desinfectante.

Digestión aerobia. Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.

Digestión anaerobia. Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en ausencia de oxígeno.

Edad de lodo. Tiempo medio de residencia celular en el tanque de aireación.

Eficiencia de tratamiento. Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.

Efluente final. Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Efluente Líquido. que sale de un proceso de tratamiento.

Filtro percolador. Tanque que contiene un lecho de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de materiales sintéticos o piedras de diversas formas, de alta relación área/volumen, sobre el cual se aplican las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles. Este es un sistema de tratamiento aerobio.

Lodo biológico. Lodo excedente que se genera en los procesos biológicos de las aguas residuales.

Lodos activados. Procesos de tratamiento biológico de aguas residuales en ambiente químico aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Esta alta concentración de microorganismos se logra con un sedimentador que retiene los flóculos biológicos y los retorna al tanque aireado.

Muestra compuesta. Mezcla de varias muestras alícuotas instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos. La mezcla se hace sin tener en cuenta el caudal en el momento de la toma.

Muestra puntual. Muestra de agua residual tomada al azar en un momento determinado para su análisis. Algunos parámetros deben determinarse in situ y otros en el laboratorio.

Oxígeno disuelto. Concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación. Normalmente se expresa en mg/L.

pH. Logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro.

Planta de tratamiento (de agua residual). Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.

Sólidos activos. Parte de los sólidos volátiles en suspensión que representan los microorganismos.

Sólidos no sedimentables. Materia sólida que no sedimenta en un período de 1 hora, generalmente.

Sólidos sedimentables. Materia sólida que sedimenta en un periodo de 1 hora.

Sistemas de tratamiento. Dependiendo del origen del agua residual se puede clasificar como agua residual doméstica o industrial, según el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento básico RAS 2000 Título E define las aguas residuales municipales como agua residual de origen domestico comercial e institucional que contiene desechos humanos, por lo cual es necesario implementar una tecnología de tratamiento que se divide en:

- **Tratamiento preliminar.** Generalmente tiene 3 funciones importantes que son la extracciones de materiales solidos intratables, protección y mejoramiento de las unidades de tratamiento posteriores además existen diferentes dispositivos los cuales pueden ser rejillas, desarenadores y trampas de grasas.

- **Tratamiento primario.** Es el primer proceso para la eliminación significativa de material orgánico e inorgánico particulado mediante el proceso de sedimentación, por lo general puede llegar a remover hasta un 60% de sólidos suspendidos y reduce la demanda de oxígeno DBO en un 35%, además disminuye la tasa de consumo y energía en procesos posteriores, por lo general se utilizan tanques de sedimentación con eliminación mecánica de lodos como mecanismo de este tratamiento y en algunos casos se puede adicionar coagulantes para aumentar la eficiencia del tratamiento.
- **Tratamiento secundario.** Este tratamiento incluye procesos biológicos anaeróbicos y aeróbicos que remueve hasta un 85% DBO y de SS convirtiendo de esta manera la materia orgánica en floc biológico sedimentable, se utiliza principalmente para oxidar las sustancias biodegradables presentes en el agua residual que logran pasar del tratamiento primario.

Tipos de reactores.

- **Reactor de mezcla completa (CSTR).** Son un tipo de reactor el cual se considera ideal, debido a que la mezcla dentro del mismo es instantánea y tendrá un contenido homogéneo a lo largo del reactor, para lograr dicha condición no debe existir zonas muertas en el mezclado.
- **Reactor de flujo en pistón (PFR).** En este tipo de reactor no existe un mezclado completo debido a que todos los elementos del sistema viajan a la misma velocidad y dirección.
- **Reactor anaeróbico de flujo ascendente (UASB).** Funciona de tal manera que el agua residual entra por el fondo del reactor y fluye en dirección

ascendente donde una capa de lodo filtra el agua y continua sale por la parte superior del reactor.

Tratamiento Aeróbico.

- **Lodos activados.** Este proceso fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Adern y Lockett y es utilizado para el tratamiento de aguas residuales domestica e industrial, el método emplea un sistema de difusores de aire comprimido para someter durante un tiempo el agua residual, logrando reducir de esta manera su composición orgánica y obteniendo la formación de una masa activa de microorganismos sedimentable denominado lodo activado el cual es reciclado y estabilizado para mantener una continua operación en el tratamiento.
- **Aireación gradual.** Utiliza difusores de aire de burbuja fina a una profundidad mínima de 2,5 m, el oxígeno es suministrado de forma gradual a lo largo del tanque de aireación siendo máximo en la entrada del afluente y de los lodos reciclados, el periodo de aireación dura entre 6 a 8 horas y se utiliza para caudales mayores a 2000 m³/d.
- **Aireación escalonada.** El sistema suministra oxígeno de forma uniforme a lo largo del tanque, en donde el agua residual es introducida al sistema en intervalos buscando de esta manera distribuir de mejor manera la carga orgánica optimizando la oxidación en todo el tanque y no solamente en la entrada.

- **Aireación extendida.** Este proceso se emplea esencialmente para tratar el agua residual de pequeñas comunidades con caudales menores de 400 m³/d, el método puede durar 24 horas o más en el cual la respiración endógena regula el proceso de oxidación, minimizando la generación de lodos.

- **Zajón de oxidación.** Lo desarrollo Pasveer en Holanda en 1953 y utiliza el proceso de lodos activados con aireación extendida a diferencia que no se emplea la sedimentación primaria en este proceso. Está compuesto por un canal rectangular, sedimentador secundario y de zonas de secado de lodos, generalmente el zajón esta revestido en concreto para evitar la erosión y filtración al suelo, el sistema tiene una remoción media de DBO y SS mayores al 85% así mismo del 80% de nitrógeno al tratar agua residual doméstica de poblaciones no mayores a 60.000 habitantes.

- **Lagunas de oxidación.** Son lagunas utilizadas para el tratamiento biológico, se caracterizan por ser poco profundas para permitir el ingreso de luz natural hasta el fondo, para sostener activa la fotosíntesis de algas en todo el sistema. La mayoría de las lagunas tienen una profundidad de 60 a 120 cm además de un periodo de retención mayor a 30 días y deben estar localizadas en un terreno impermeable para evitar filtraciones que puedan disminuir el nivel superficial del agua.

*Tabla 4.
Características de los procesos de lodos activados*

TIPO DE PROCESO	MODELO DE FLUJO	SISTEMA DE AIREACION	EFICIENCIA EN
			REMOCION DE DBO ₅ , %
Convencional	Flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánicos	85-95
Completamente mezclado	Flujo continuo, reactor agitado	Aire difuso, aireadores mecánicos	85-95

Aireación escalonada	Flujo Pistón	Aire difuso	85-95
Aireación modificada	Flujo Pistón	Aire difuso	60-75
Estabilización por contacto	Flujo Pistón	Aire difuso, aireadores mecánicos	80-90
Aireación Extendida	Flujo Pistón	Aire difuso, aireadores mecánicos	75-95
Aireación de alta tasa	Flujo continuo, reactor agitado	Aireadores mecánicos	85-95
Oxígeno puro	Flujo continuo reactores en serie agitados	Aireadores mecánicos	85-95
Zajón de oxidación	Flujo Pistón	Aireadores mecánicos (Tipo de eje horizontal)	75-95

Nota: Resumen de las características de operación propias de los procesos de lodos activados. Adaptado de Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS”. Título E – Tratamiento de aguas residuales.

- **Filtro percolador:** Son filtros de contacto que tienen como objetivo reducir la carga orgánica del agua residual, está compuesto por un conjunto de piedras o de algún compuesto artificial que busca crear una biomasa adherida al medio filtrante en la cual se fijan los microorganismos en el proceso de filtración del agua.
- **Biodiscos.** Son un sistema de tratamiento biológico secundario de crecimiento adherido, en el cual una película biológica crece en unos discos colocados de forma horizontal en el reactor, estos están parcialmente sumergidos y rotan dentro del agua para suministrar oxígeno a los microorganismos, el sentido del flujo debe ser paralelo o perpendicular al eje de rotación.

De acuerdo con Reynolds y Richards en su libro Unit Operations and Processes in Environmental Engineering se establece los parámetros de diseño para los tipos de procesos utilizados en el tratamiento aeróbico. (Ver anexo 3).

Tratamiento anaeróbico. Busca descomponer la materia orgánica en ausencia de oxígeno por medio de microorganismos anaerobios los cuales convierten el material orgánico en gases como el metano y el dióxido de carbono. Usualmente se utiliza un reactor de mezcla completa el cual debe carecer de oxígeno disuelto, la principal desventaja del tratamiento es la lenta creación de bacterias formadoras de metano de igual modo el tiempo de retención oscila entre 10 y 30 días dependiendo del funcionamiento del sistema, este tratamiento se puede aplicar a estanques y lagunas.

Recursos para ejecutar el trabajo de grado

Materiales

Se cuentan con materiales de: medición de longitud (flexómetro) para verificar las dimensiones de los sistemas existentes, papelería y utensilios.

Institucionales

Instrumentos de precisión (Estación Total, GPS, nivel automático o nivel topográfico con su respectiva regla, cinta métrica, nivel de mano, manómetro, correntómetro digital).

Financieros

Personal:

- Transporte: \$ 150.000
- Comida: \$ 400.000
- Estadía: \$ 800.000

Asistentes de investigación:

- No aplica

Equipos:

Suministrado:

- GPS: \$0
- Laboratorio de Tratamiento de agua: \$0
- Laboratorio de Microbiología: \$0

No Suministrado:

- GPS: \$ 400.000
- Laboratorio en general: \$ 750.000

Software:

- AutoCAD: \$0 – Licencia estudiantil
- ArcGIS: \$0 – Licencia estudiantil
- Google Earth: \$0 – Licencia estudiantil

Materiales:

- Casco: \$59.900
- Botas: \$ 69.900
- Respirador filtro sencillo: \$17.000
- Guantes caucho negro corrugado – riesgo químico leve: \$ 27.900
- Recipientes esterilizados: \$90.000
- Cámara Fotográfica: \$0

Papelería:

- Impresiones: \$80.000
- Fotocopias: \$20.000
- Impresión gran formato: \$70.000

Movilidad académica:

- No aplica

Organización de eventos:

- No aplica

Total: 2'934.700

Dos millones novecientos treinta y cuatro mil setecientos pesos.

Metodología

Primera Fase: Diagnóstico de las condiciones actuales de la planta de tratamiento de agua residual PTAR La Carbonera.

- A partir de visitas técnicas y observación directa a la PTAR La Carbonera, se realizará el diagnóstico de la condición actual de la línea de aguas y línea de lodos además del estado de los equipos que permiten el funcionamiento en la planta.

Recursos:

- Cámara
- Casco
- Botas
- Transporte
- Respirador filtro sencillo
- Papelería

Segunda Fase: Análisis de parámetros.

- Analizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a la entrada y salida de la PTAR para determinar la eficiencia del tratamiento de la planta.

Recursos:

Fuentes bibliográficas (libros e informes)

Tercera Fase: Plano topográfico de la infraestructura de la PTAR y georeferenciación en un sistema de información geográfico SIG - ArcGIS.

- **Plano topográfico:** Se realizará el plano topográfico a partir de la digitalización de la infraestructura de la planta que consiste en la ubicación de las diferentes unidades del proceso igualmente del equipo electromecánico.

- **Georeferenciación SIG - ArcGIS:** Consiste en agregar una imagen raster, layer georeferenciado, puntos de control y procesamiento de datos, asimismo la vinculación de imágenes y videos a la capa realizada de la planta de tratamiento.

Recursos:

- Decámetro
- Transporte
- GPS
- Computador
- Respirador filtro sencillo

Cuarta Fase: Manual con recomendaciones para el mantenimiento de los equipos existentes

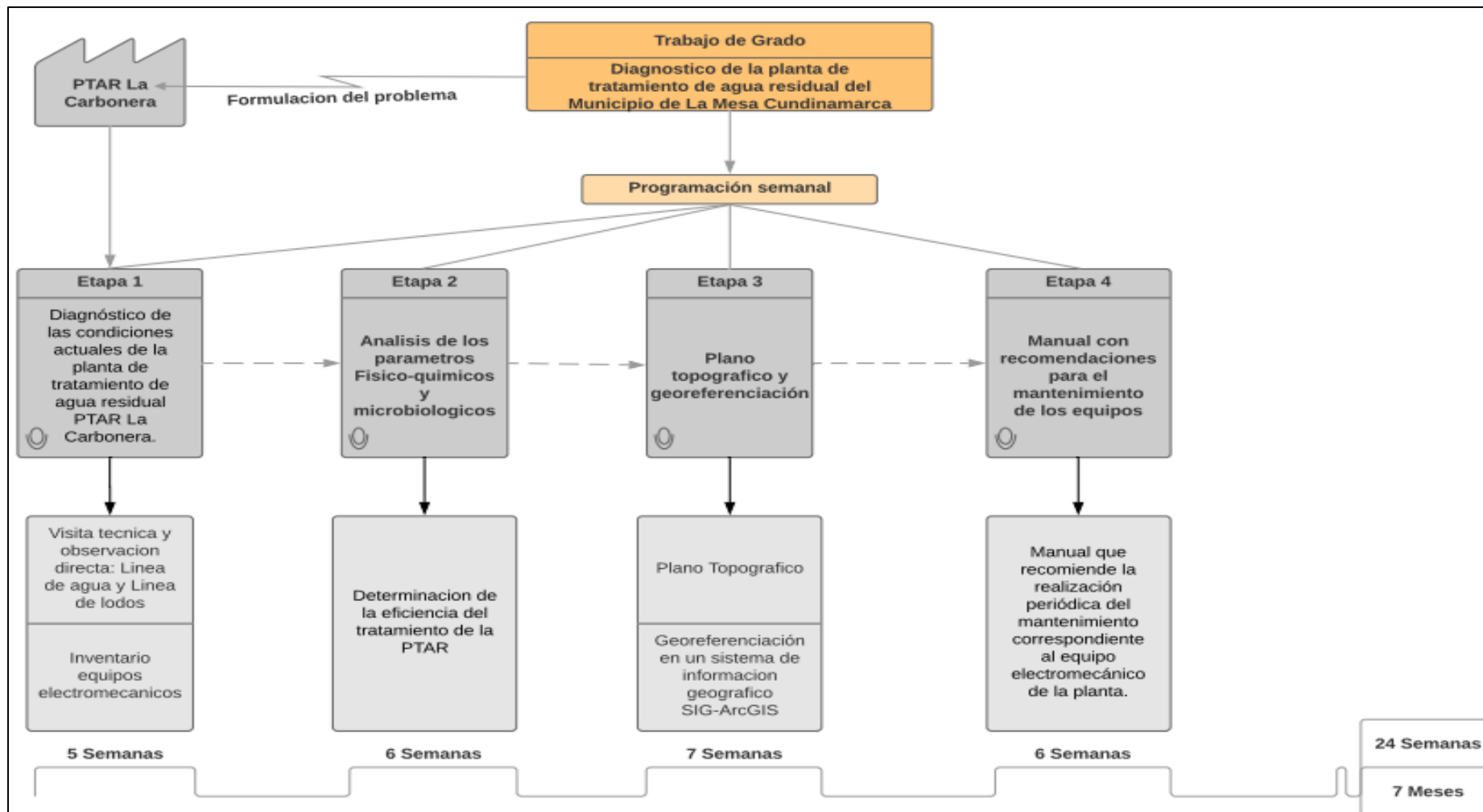
- A partir del inventario de los equipos se desarrollará un manual que recomiende la realización periódica del mantenimiento correspondiente al equipo electromecánico de la planta.

Recursos:

- Papelería
- Computador
- Fuentes bibliográficas (Libros)

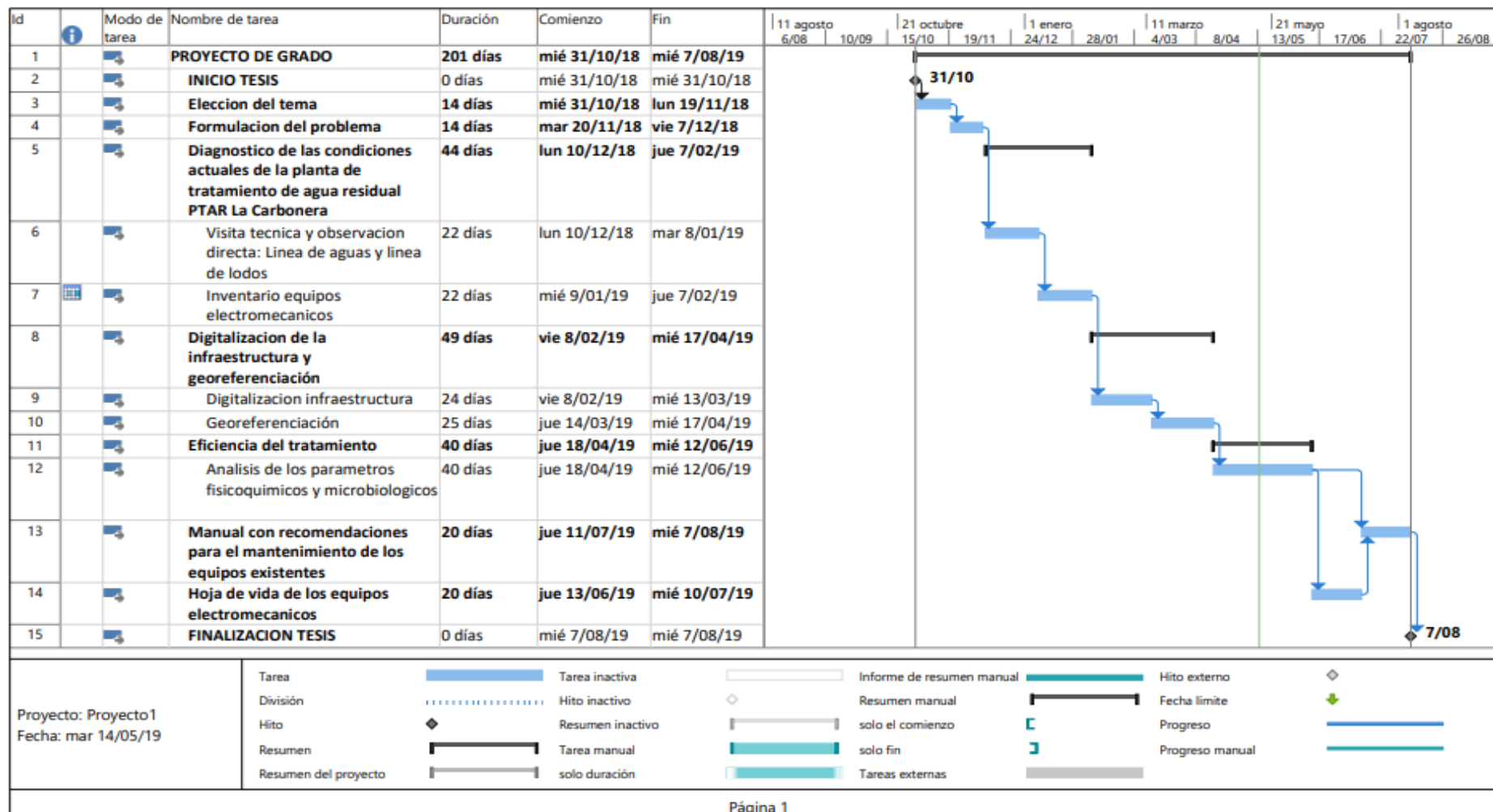
Flujograma

Tabla 5.
Flujograma de actividades



Cronograma

Tabla 6.
Cronograma de actividades



CAPÍTULO II

Resultados

PRIMERA ETAPA: Plano topográfico de la infraestructura de la PTAR y georeferenciación en un sistema de información geográfico SIG - ArcGIS.

La planta de tratamiento de aguas residuales La Carbonera en el municipio de La Mesa se encuentra ubicada en las coordenadas $4^{\circ}37'53.40''N$ - $74^{\circ}28'21.38''W$, a 65 kilómetros de Bogotá D.C. Cuenta con dos puntos fijos georeferenciados por GPS con receptores satelitales de doble frecuencia los cuales permiten una mayor precisión a las coordenadas obtenidas, estas están plasmadas sobre mojones de concreto de dimensiones $0,3m \times 0,3m \times 0,4m$ con coordenadas en el primer punto de $4^{\circ}37'52.82314''N$, $74^{\circ}28'21.04673''W$ con altitud de 1150.211 y segundo de $4^{\circ}37'53.59109''N$, $74^{\circ}28'22.09383''W$ con altitud de 1143.997. (ERAT S.A. E.S.P. Empresa Regional Aguas del Tequendama, 2017, p. 17)

Figura 2.
Ubicación Mojones



Nota: Georeferenciación de dos puntos fijos “mojones de concreto” en la planta de tratamiento de agua residual La Carbonera. Adaptado de Google Earth

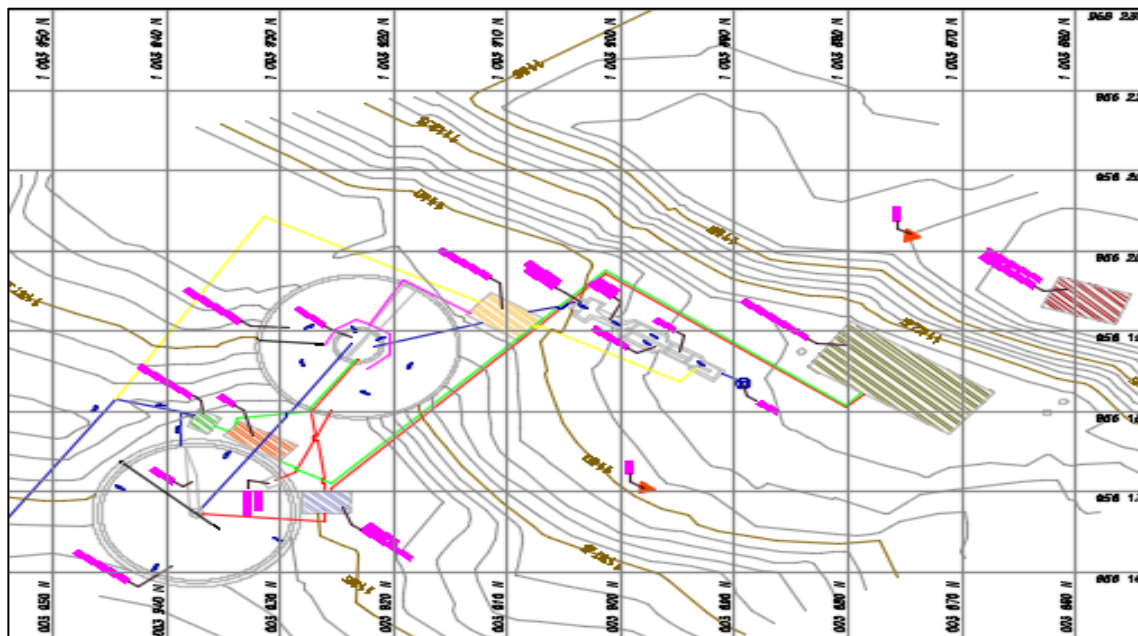
Tabla 7.
Coordenadas GPS

GEOGRAFICAS			
GPS	Latitud	Longitud	Ell. Height (m)
1	4°37'52.82314"N	74°28'21.04673"W	1.150.211
2	4°37'53.59109"N	74°28'22.09383"W	1.143.997
GAUSS -KRUGER			
GPS	Norte	Este	Cota Ortometrica
1	1.003.897.959	956170.51	1.128.201
2	1.003.921.567	956.138.249	1.121.987

Nota: Cada mojón cuenta con sus coordenadas de localización en coordenadas geográficas y Gauss – Kruger.
Adaptado de Empresa Regional Aguas del Tequendama

A partir del plano topográfico se realiza la descripción del terreno, incluyendo las características naturales además de la localización de la línea de aguas, línea de lodos, línea de excesos, y de las estaciones de bombeo, aireación y deshidratación de lodos. Ver anexo 4

Figura 3.
Plano topográfico – AutoCAD



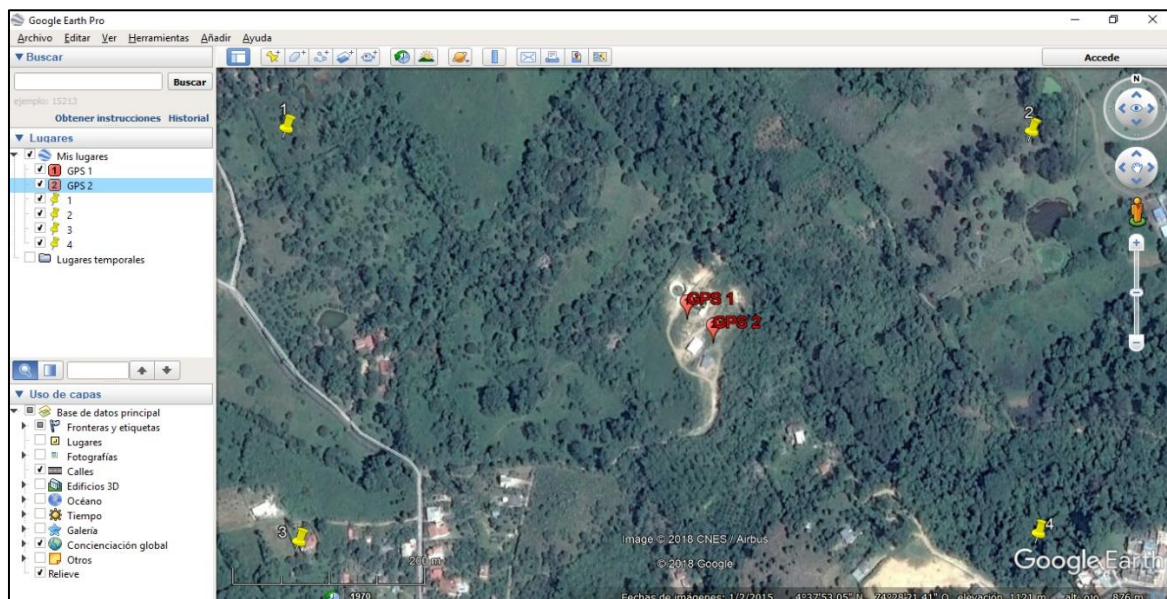
Nota: A partir de la ubicación se realiza el levantamiento topográfico de la infraestructura de la planta identificando la línea de aguas y línea de lodos además del equipo electromecánico. Adaptado de Empresa Regional Aguas del Tequendama

DIAGNÓSTICO PTAR LA CARBONERA, LA MESA CUNDINAMARCA

Posteriormente se realiza la georeferenciación en el programa ArcMap. Para ello es necesario descargar una plantilla de drenaje, tipología municipal y vías de la página del sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial SIG-OT, así mismo los mapas descargados se encuentran en coordenadas Gauss – Kruger.

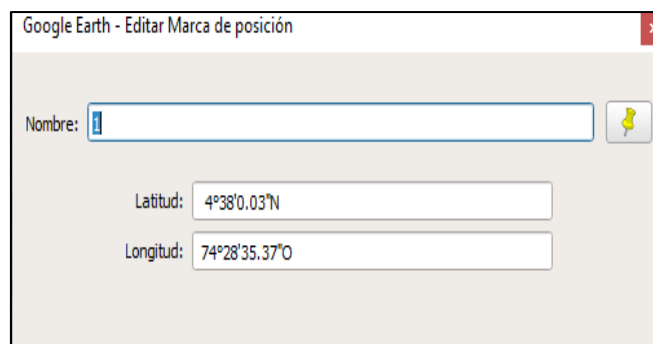
Para la ubicación de los puntos de georeferenciación se utilizan las coordenadas de dos GPS ubicados en la planta, los cuales arrojan coordenadas Gauss – Kruger. Así mismo se toman 4 puntos adicionales de referencia con ayuda de Google Earth.

*Figura 4.
Georeferenciación Google Earth*



Nota: Ubicación de los 4 puntos tomados para la georeferenciación. Adaptado de Google Earth

*Figura 5.
Coordenadas en grados minutos y segundos “Geográficas”*



Nota: Coordenadas en grados minutos y segundos “geográficas” del punto 1. Adaptado de Google Earth

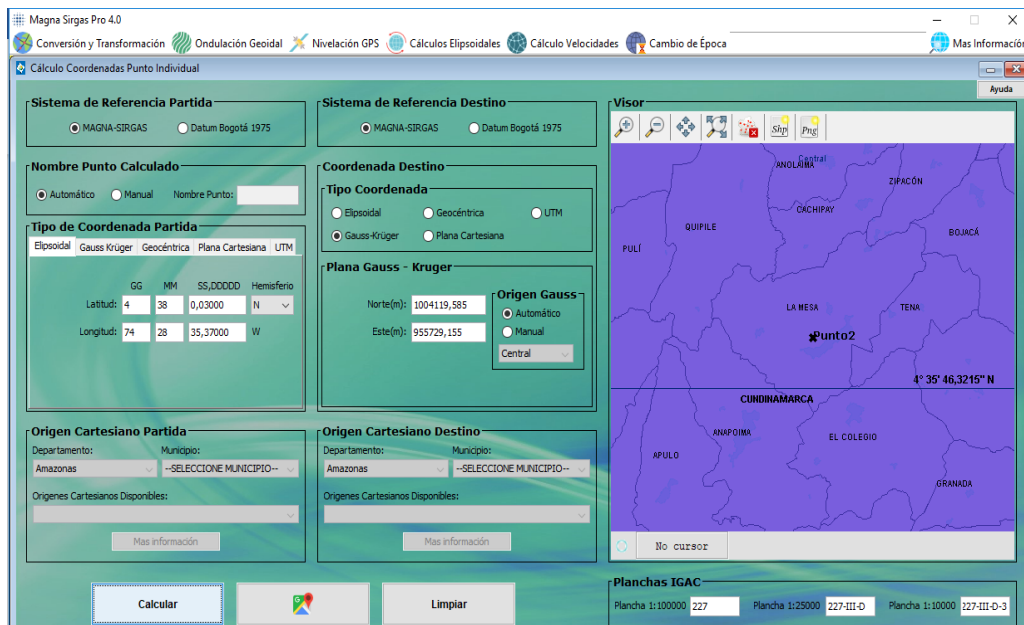
Tabla 8.
Coordenadas obtenidas en Google Earth

NUMERO	COORDENADAS GEOGRAFICAS	
	LATITUD	LONGITUD
1	4°38'0.03"N	74°28'35.37"O
2	4°37'59.91"N	74°28'10.16"O
3	4°37'45.51"N	74°28'34.92"O
4	4°37'45.80"N	74°28'9.93"O

Nota: Cada punto tomado de Google earth cuenta con coordenadas geográficas que identifican la localización. Elaboración propia

Con las coordenadas obtenidas anteriormente en Google Earth se hace la conversión a las coordenadas Gauss – Kruger, por medio del programa del Agustín Codazzi Magna Sigas Pro 4, de esta manera se obtienen 6 puntos de referencia.

Figura 6.
Conversión de coordenadas geográficas a Gauss - Kruger



Nota: Para cada punto tomado de Google earth en coordenadas geográficas se realiza la conversión de coordenadas a Gauss-Kruger. Adaptado de Magna Sirgas Pro 4.

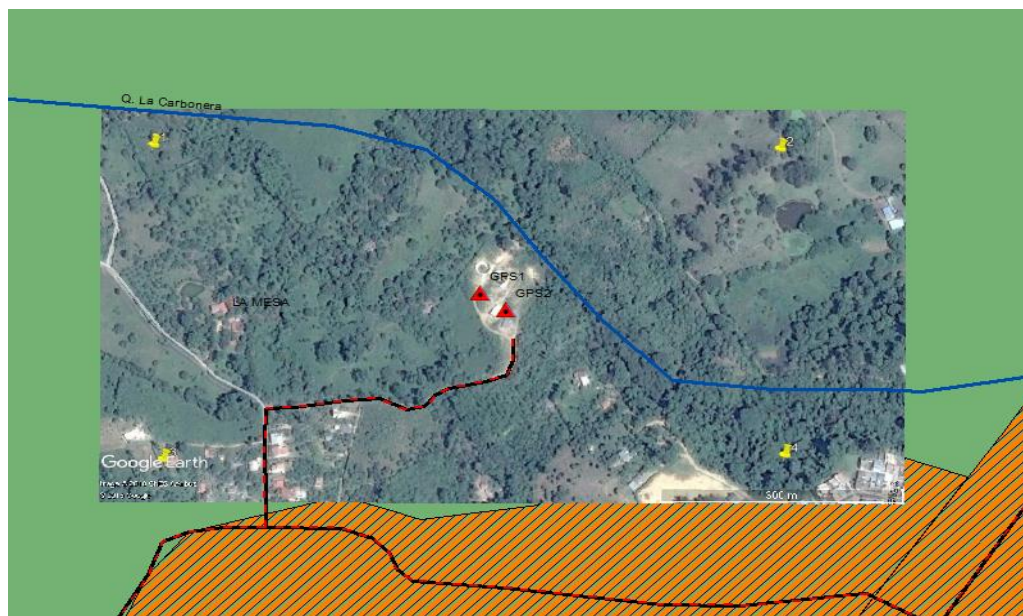
Tabla 9.
Coordenadas de referencia

NUMERO	COORDENADAS	
	GAUSS - KRUGER	
	NORTE	ESTE
1	1004119,585	955729,155
2	1004115,466	956506,186
3	1003673,555	955742,774
4	1003682,034	956513,036
GPS1	1003897,959	956170,51
GPS2	1003921,567	956138,249

Nota: A partir de los puntos obtenidos en Google Earth y los de puntos fijos en la planta de tratamiento se obtienen 6 puntos para la georeferenciación. Elaboración propia

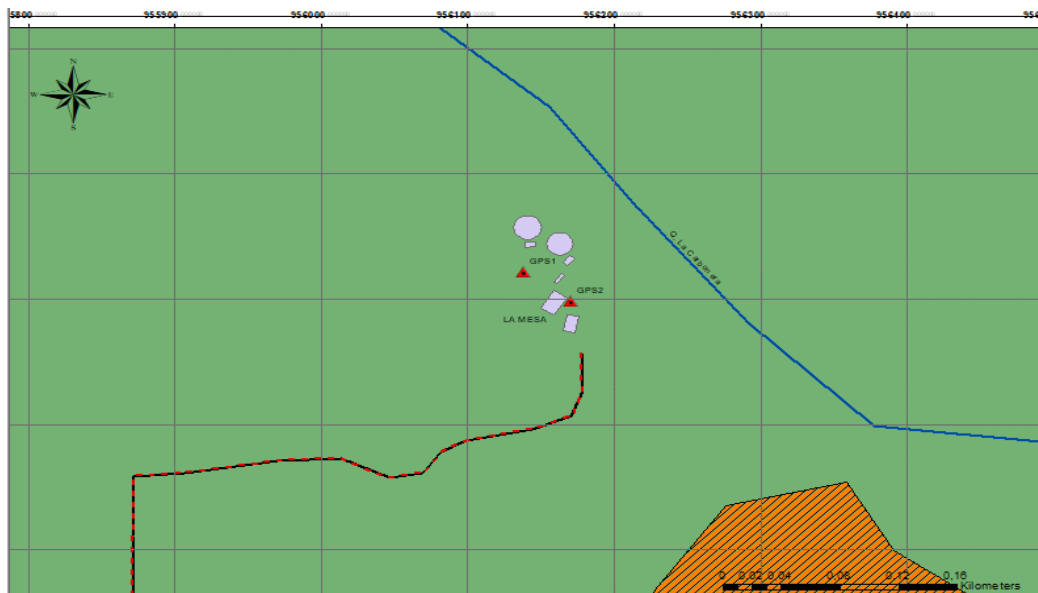
Se procede a realizar la georeferenciación en un sistema de información geográfica SIG – ArcGIS, por medio de la aplicación principal ArcMap y de la herramienta georeferencing, además se efectúa la digitalización de la infraestructura de la PTAR. Ver anexo 5.

Figura 7.
Georeferenciación



Nota: Georeferenciación de ArcMap a partir de los puntos de referencia obtenidos anteriormente. Elaboración propia

Figura 8.
Digitalización PTAR La Carbonera ArcMap



Nota: Se digitaliza la infraestructura de la planta de tratamiento de agua residual. Elaboración propia

SEGUNDA ETAPA: Diagnóstico de las condiciones actuales de la planta de tratamiento de agua residual PTAR La Carbonera.

Se realizó la inspección visual y caracterización de las instalaciones de la PTAR, donde se logra recoger información para iniciar el diagnóstico detallado de los sistemas de tratamiento además de los equipos electromecánicos con el fin de determinar estado actual de la planta.

La PTAR La Carbonera está provista para tratar un caudal máximo horario de diseño de 48,1 l/s en la construcción de su primera etapa (2013), posteriormente se desarrollará 2 etapas más donde la primera (2025) tendrá una capacidad máxima de tratamiento de 87,2 l/s y la etapa final (2035) un caudal máximo a tratar de 123 l/s. El tratamiento realizado por la PTAR consta de lo siguiente:

La línea de tratamiento de las aguas consiste en un pretratamiento compuesto por rejas, desarenador gravitacional, canaleta Parshall, un tratamiento secundario por lodos activados en aireación extendida, seguido de un clarificador secundario. Los lodos en exceso del tratamiento

por lodos activados son deshidratados mecánicamente por un filtro de banda. El lodo deshidratado, los residuos retenidos por las rejillas y las arenas retenidas por los desarenados son almacenados en sacos de 25Kg, los cuales son transportados al relleno sanitario de Mondoñedo.

Adicionalmente se cuenta con 4 filtros de arena en presión que permiten desinfectar el agua clarificada recolectada de un pozo por medio de una bomba sumergible para el lavado de las estructuras del sistema de tratamiento.

Inspección visual y caracterización.

Pretratamiento: Está compuesto por una cámara de llegada, by pass, canal de cribado, desarenador, canaleta Parshall y una cámara repartidora de caudal a tanque de aireación.

Figura 9.
Pretratamiento



Nota: Elaboración propia

Cámara de llegada: Permite el ingreso de agua residual doméstica, donde los excedentes provocados por lluvias o caudales picos son descargados por el by pass el cual los conduce directamente al efluente, tiene una forma rectangular con un ancho de 1,65m, largo de 2,73m y altura total de 1,01m y su material es de concreto reforzado.

Figura 10.
Fotografía cámara de llegada



Nota: Elaboración propia

Canal de cribado: Sistema de rejas compuesto por barras que tienen una separación de 1 cm y cuentan con un perfil rectangular que permite la retención y desbaste de material grueso compuesto por sólidos y arenas de las aguas provenientes del afluente. Además, posee la reja frontal que está compuesta por acero galvanizado con una separación de 5cm e inclinación de 45° con una estructura de dos bandejas de recolección de sólidos y dos plataformas de operación de válvulas y su material es de concreto reforzado.

Figura 11.
Fotografía canal de cribado



Nota: Elaboración propia

Desarenador: Es de tipo gravitacional y permite realizar la decantación de las arenas provenientes de las aguas servidas, su estructura tiene un área rectangular de 2,20 m² con un ancho de 1m, largo de 2,20m, altura de 1,65m y una profundidad de 0,86m, es de canal doble con el fin de realizar las operaciones de mantenimiento y limpieza, también cuentan con un sistema de compuertas estáticas de hoja e izamiento manual.

Figura 12.
Fotografía desarenador



Nota: Tomando de Empresa Regional Aguas del Tequendama

Canaleta Parshall: La medición del caudal se realiza mediante una canaleta Parshall con un ancho de garganta de 9'' en la cual transita el agua residual que ingresa al tanque de aireación, cuenta con sensor ultrasónico y una caja de display los cuales están programados para realizar el cálculo del caudal. Su material es de fibra de vidrio implantada en un canal de concreto reforzado con unas dimensiones de 0,80m de ancho, 2.91 de largo y con una altura total de 0,92m.

Figura 13.
Fotografía canaleta Parshall



Nota: Elaboración propia

Cámara repartidora de caudal a tanque de aireación: Su función es repartir equitativamente a los tanques de aireación el caudal dependiendo de la etapa en la que se encuentre la planta Etapa1 (2013) con un caudal de 23.75 l/s, Etapa 2 (2025) con un caudal de 47.5 l/s y Etapa final (2035) con un caudal total de 71.25 l/s. Esto garantiza la operación correcta en las unidades posteriores además de contar con vertederos los cuales operan bajo la condición de caudal máximo horario su material es de concreto reforzado y de sección rectangular.

Figura 14.
Fotografía cámara repartidora



Nota: Elaboración propia

Tratamiento secundario: Se basa en un tratamiento biológico por lodos activados con aireación extendida, seguidos de un clarificador, una desinfección final para reducir los gérmenes y un proceso de filtración para utilización del agua clarificada dentro de la PTAR.

Tanque de aireación: Cuenta con los componentes de recirculación RAS que consiste en la recirculación de lodos desde el clarificador y la recirculación WAS la cual descarta los lodos en exceso, agitador sumergible tipo hélice además de sopladores de aireación y sistemas de difusión de aire. Actualmente se cuenta con un tanque de aireación trabajando en paralelo con los otros 2 tanques proyectados de las etapas posteriores. El material del tanque es de concreto reforzado de diámetro de 18m y con una altura de 5,5m con un volumen total de 1411 m³.

Figura 15.

Fotografía tanque de aireación



Nota: Elaboración propia

Sopladores de aireación: Cuenta con 3 sopladores de tipo roots de desplazamiento positivo conectados a un manifold común, la cual controla la presión de cada soplador, se encuentran ubicados en un cuarto de concreto con ventilación que permite evacuar el calor producido por los equipos.

Figura 16.
Fotografía sopladores de aire



Nota: Elaboración propia

Sistema de difusión de aire: Difusores circulares de tipo membrana de burbuja fina montados en 2 parillas de distribución de aire construidas en PVC, estos permiten distribuir uniformemente el aire en todo el tanque para que los microorganismos puedan realizar la degradación de la materia orgánica, se encuentran ubicados en unos soportes localizados en el fondo del tanque de aireación.

Figura 17.
Fotografía sistema de difusión de aire de burbuja fina



Nota: Tomando de Empresa Regional Aguas del Tequendama

Clarificador: Tanque circular de fondo cónico que cuenta con un barrido de fondo de lodos el cual se realiza por medio de un carro de tracción que rueda sobre el borde perimetral superior y de forma radial en el fondo del clarificador, posteriormente los lodos se extraen por medio de tuberías que pasan por debajo de la estructura y a su vez está conectada con las bombas de recirculación de lodos. El agua clarificada es conducida por una tubería hasta la descarga que se realiza en la quebrada La Carbonera. El material del clarificador es de concreto reforzado con un diámetro de 18m, altura útil de 2m y altura total de 3.9m, además cuenta con un área superficial de 254m².

Figura 18.
Fotografía tanque clarificador



Nota: Elaboración propia

Filtración: Cuenta con un sistema de filtración el cual se realiza al bombear el agua clarificada captada de la cámara de salida y pasarla a través de 4 filtros de arena tipo cuarzo en presión para una mayor eliminación de impurezas, el agua filtrada es utilizada para el lavado de los tanques, preparación de polímero y lavado del filtro de banda. Se tienen dos bombas de tipo centrifugas con una potencia de 3Kw y un caudal de 15m³/h.

Figura 19.
Fotografía filtros



Nota: Elaboración propia

Línea de lodos:

Bomba de recirculación RAS: Los lodos provenientes del clarificador son recirculados al sistema de aireación por medio de una bomba centrífuga apta para el bombeo de líquidos con sólidos y es accionada por un motor eléctrico, esta se encuentra en una estación de bombeo para garantizar la continua operación se cuenta con 2 bombas de capacidad de 22 l/s y potencia de 5 HP esto con el fin de tener una en servicio y otra de reserva.

Bomba de exceso WAS: La bomba de exceso extrae el lodo sobrante de la cámara de mezcla ubicada en el anillo interior del tanque de aireación, son de tipo centrifugas horizontal con un rotor apto para el bombeo de líquidos con sólidos, succiona e impulsa hasta la unidad de deshidratación de lodos, cuentan con 2 bombas con capacidad de 4l/s y una potencia de 2.4HP una que está en continuo servicio y otra de reserva.

Figura 20.
Fotografía bombas RAS - WAS



Nota: Elaboración propia

Deshidratación de lodos: la deshidratación de los lodos provenientes desde el tratamiento biológico se realiza mediante un filtro de banda de tracción hidráulica y con un sistema de dosificación del polielectrolito utilizado para la línea de deshidratación, el sistema tiene 2 bombas dosificadoras de inyección, las cuales tienen un caudal de 90l/h y potencia de 0,05Kw. Adicionalmente el mezclado del polímero se realiza en un estanque de maduración y mezcla el cual tiene un agitador de polímeros con un motor eléctrico de 0,2kW, la preparación del polielectrolito es de forma manual y es diluida en la tubería de impulsión de lodos hacia el filtro.

Figura 21.
Fotografía filtro de banda hidráulica



Nota: Elaboración propia

Almacenamiento de lodos deshidratados: Se dispone de una estructura simple hecha de bambú donde los lodos deshidratados son almacenados en sacos de 25kg, posteriormente son transportados al relleno sanitario de Mondoñedo.

*Figura 22.
Fotografía almacenamiento de lodos deshidratados*



Nota: Elaboración propia

Verificación de parámetros mínimos de diseño.

Proyección de población.

A partir de los datos suministrados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística “DANE”, se realiza la proyección de población para la cabecera mediante el cálculo aproximado de número de habitantes de un lugar para un año futuro. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2005)

*Tabla 10.
Censos realizados por el DANE*

Año	Habitantes Cabecera
1995	9762
1997	10550
2000	11812
2005	14007

Nota. Adaptado del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE

Para el cálculo de la proyección de población se decide adoptar el método exponencial, ya que el municipio de La Mesa tiene un alto grado de turismo y comercio por su cercanía a Bogotá D.C. Este método se puede aplicar si se conoce por lo menos 3 censos que permitan determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población, es útil para poblaciones que muestran una actividad económica importante y posean abundantes áreas de expansión.

Método Exponencial.

El método utiliza la siguiente ecuación:

$$Pf = P_{ci} * e^{k*(T_f - T_{ci})}$$

T_f = Año al cual se quiere proyectar la información

T_{ci} = Año correspondiente al censo inicial con información

K = Tasa de crecimiento de la población para cada par de censos

$$K = \frac{\ln(P_{cp}) - \ln(P_{ca})}{T_{cp} - T_{ca}}$$

P_{ca} = Población del censo anterior

P_{cp} = Población del censo posterior

T_{cp} = Año correspondiente al censo posterior

T_{ca} = Año correspondiente al censo anterior

Reemplazando en la ecuación anterior se obtiene los siguientes valores de K con los cuales se obtiene un promedio el cual es utilizado para el cálculo de la proyección de población.

*Tabla 11.
Resultados tasa de crecimiento de la población para cada par de censos*

CABECERA	
AÑOS	K
1995 - 1997	0,04
1997 - 2000	0,04
2000 - 2005	0,03
PROM	0,036

Nota. Elaboración propia.

DIAGNÓSTICO PTAR LA CARBONERA, LA MESA CUNDINAMARCA

A partir de la información suministrada por el censo de 2005 sobre la población flotante (6.755 habitantes) en la cabecera y de la zona rural del municipio de La Mesa, se decide adoptar el 50% de ese valor para el cálculo de la proyección de población flotante dentro de la cabecera.

$$P_{ff} = P_0(1 + r)^n$$

P_{ff} = Poblacion flotante futura

P_0 = Poblacion futura Inicial

r = Tasa de crecimiento poblacional

n = Periodo de diseño (años)

$$P_{f(2013)} = 6755(1 + 0.036)^8$$

Tabla 12.
Resultados proyección de población método exponencial

MÉTODO EXPONENCIAL			
AÑO	CABECERA	FLOTANTE	TOTAL
2019	23217	5565	28782
2020	24070	5766	29836
2021	24955	5975	30930
2022	25872	6190	32062
2023	26824	6414	33238
2024	27810	6645	34455
2025	28832	6885	35717
2026	29892	7134	37026
2027	30991	7391	38382
2028	32130	7658	39788
2029	33311	7934	41245
2030	34535	8221	42756
2031	35805	8518	44323
2032	37121	8825	45946
2033	38486	9144	47630
2034	39900	9474	49374
2035	41367	9816	51183
2036	42888	10170	53058
2037	44464	10537	55001
2038	46099	10918	57017

<i>MÉTODO EXPONENCIAL</i>			
<i>AÑO</i>	<i>CABECERA</i>	<i>FLOTANTE</i>	<i>TOTAL</i>
2039	47793	11312	59105
2040	49550	11720	61270
2041	51372	12143	63515
2042	53260	12582	65842
2043	55218	13036	68254
2044	57248	13507	70755

Nota. Proyección de población para un periodo de 25 años(2013-2038) del Municipio de La Mesa. Elaboración propia

Caudales de diseño.

El plan de ordenamiento territorial del municipio de La Mesa y La Empresa regional aguas del Tequendama, determinan que a la PTAR La Carbonera llega el sistema de alcantarillado combinado (Agua residual + Agua lluvia), la cual tiene proyectado tratar un 60% del agua residual de la cabecera municipal, el otro 40% esta dividido en las otras dos PTAR del Municipio (La Quijana 35.6% y Villas 4.4%). Por esta razón se estableció tomar el 60% del total de la población del municipio para el cálculo de los caudales proyectados de la PTAR La Carbonera para un periodo de 25 años contados a partir del año 2019.

Dotación Neta.

La resolución 0330 determina que la dotación neta varía según la altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida. El municipio se encuentra en una altura aproximada 1200 msnm y con una temperatura media de 22°C (Alcaldía de La Mesa - Cundinamarca, 2012).

Por esta razón se adopta una dotación neta de 130 L/Hab/día.

Tabla 13.
Dotación neta máxima

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
> 2000 m.s.n.m	120

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
1000 - 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Nota. Adaptado de “Resolución 0330 de 2017” Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Dotación Bruta.

Corresponde a la cantidad mínima de agua para satisfacer las necesidades básicas de un habitante, la resolución 0330 determina que se debe calcular con la siguiente ecuación.

$$D_{Bruta} = \frac{d_{neta}}{(1 - \%P)}$$

d_{neta} = Dotacion neta

$\%P$ = Porcentaje de perdidas tecnicas maximas de diseño = 25%

$$D_{Bruta} = \frac{130 \frac{L}{Hab * dia}}{(1 - 0.25)} = 173.33 \frac{L}{Hab * dia}$$

Caudal Medio Diario.

Según el artículo 134 de la resolución 0330 el caudal medio diario de aguas residuales domesticas se calcula con la siguiente ecuación.

$$Q_{MD} = \frac{Poblacion * Dotacion bruta * R}{86400} + Q_{inf}$$

Se toman los valores según la resolución de caudal de infiltración de 5 L/s y un coeficiente de retorno de 0.85 debido a que no se cuentan con valores de campo.

$$Q_{MD(2019)} = \frac{17269 Hab * 173.33 \frac{L}{Hab * dia} * 0.85}{86400} + 5 \frac{L}{s}$$

R = Coeficiente de retorno

$$Q_{MD(2019)} = 34.44 \frac{L}{s}$$

Caudal Máximo Horario.

Según Romero y la resolución actual el caudal máximo horario se calcula multiplicando el caudal medio diario por un factor de mayoración el cual debe ser mayor o igual a 1.4.

$$F_{(Harmon)} = 1 + \frac{14}{4 + P^{0.5}} = 1 + \frac{14}{4 + 17269^{0.5}} = 1.10 = 1.4$$

$$F_{(Babbit)} = \frac{5}{P^{0.2}} = \frac{5}{17269^{0.2}} = 0.71 = 1.4$$

F = Factor de mayoración

P = Población

$$Q_{MH(2019)} = 34.44 \frac{L}{s} * 1.4 = 48.22 \frac{L}{s}$$

*Tabla 14.
Caudal medio diario y máximo horario*

Año	Población	Población Servida (60%)	D bruta	QMD (L/s)	QMH (L/s)
2019	28782	17269	173	34,4	48,2
2020	29836	17902	173	35,5	49,7
2021	30930	18558	173	36,6	51,3
2022	32062	19237	173	37,8	52,9
2023	33238	19943	173	39,0	54,6
2024	34455	20673	173	40,3	56,4
2025	35717	21430	173	41,5	58,2
2026	37026	22215	173	42,9	60,0
2027	38382	23029	173	44,3	62,0
2028	39788	23873	173	45,7	64,0
2029	41245	24747	173	47,2	66,1
2030	42756	25654	173	48,7	68,2
2031	44323	26594	173	50,3	70,5
2032	45946	27568	173	52,0	72,8
2033	47630	28578	173	53,7	75,2
2034	49374	29624	173	55,5	77,7
2035	51183	30710	173	57,4	80,3
2036	53058	31835	173	59,3	83,0

2037	55001	33001	173	61,3	85,8
2038	57017	34210	173	63,3	88,7
2039	59105	35463	173	65,5	91,7
2040	61270	36762	173	67,7	94,8
2041	63515	38109	173	70,0	98,0
2042	65842	39505	173	72,4	101,3
2043	68254	40952	173	74,8	104,8
2044	70755	42453	173	77,4	108,3

Nota. Cálculo del caudal medio diario y máximo horario desde el año (2019) hasta un periodo de diseño de 25 años (2044) para una población servida del 60%. Elaboración propia.

Verificación del sistema de tratamiento.

Se realiza la verificación de los parámetros de diseños de cada proceso del tratamiento existente (cribado, desarenador, canaleta Parshall, tanque de aireación y tanque clarificador), para determinar si cumple con los parámetros mínimos de diseño establecidos en la literatura o por la resolución 0330 de 2017.

De acuerdo con el artículo 166, se establece que las unidades del pretratamiento (desarenador, cribado, trampa de grasas, canaleta Parshall) se deben diseñar con el caudal máximo horario, se decide adoptar el mayor valor entre el caudal de diseño (**123L/s**) y el calculado (**108,3 l/s**), debido a que el pretratamiento se diseñó para tratar el caudal futuro de la última etapa (2013 – 2035).

Cribado.

Perdida de energía.

$$H = \beta * \left(\frac{w}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * h_v * \text{sen } \theta$$

$$V = \frac{Q}{A} \rightarrow h_v = \frac{V^2}{2 * g}$$

β = Factor de forma de las barras – 1,79 para barras circulares

w = Ancho máximo de la sección transversal de las barras = 1cm

$b =$ Separación mínima entre las barras = 5cm

$h_v =$ Energía de velocidad de aproximación del flujo

$\theta =$ Ángulo de las rejillas con la horizontal

$Q =$ Caudal a través de la rejilla

$V =$ Velocidad de aproximación del flujo

$A =$ Área de la sección transversal del canal

$g =$ gravedad

Perdida de energía con ambas rejillas en operación

$$V = \frac{0,0615 \frac{m^3}{s}}{0,22m * 0,50m} = 0,56 \frac{m}{s} \rightarrow h_v = \frac{\left(0,56 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,028 m$$

$$H = 1,79 * \left(\frac{1cm}{5cm}\right)^{\frac{4}{3}} * 0,028m * \text{sen } 50 = 0,0028m$$

Perdida de energía con una rejilla en operación

$$V = \frac{0,123 \frac{m^3}{s}}{0,22m * 0,50m} = 1,12 \frac{m}{s} \rightarrow h_v = \frac{\left(1,12 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,064 m$$

$$H = 1,79 * \left(\frac{1cm}{5cm}\right)^{\frac{4}{3}} * 0,064m * \text{sin } 50 = 0,010m$$

Eficiencia

$$\text{Eficiencia} = \frac{b}{b + w} = \frac{5cm}{5cm + 1cm} * 100\% = 83,3$$

Verificación.

Tabla 15.
Verificación parámetros de diseño (Cribado)

Cribado					
Parámetro	Unidad	Valores de diseño y resultados	Intervalo	Cumple	Criterio
Velocidad de aproximación	m/s	0,56 - 1,12	0,3 - 1,2	Cumple	Resolución 0330
Perdida de energía	m	0,0028 - 0,010	< 0,15	Cumple	Romero
Ancho de las barras	cm	1	0,5 - 1,5	Cumple	Romero
Espaciamiento entre barras	cm	5	2,5 - 5	Cumple	Romero
Inclinación rejilla con la vertical	°	45	30 - 45	Cumple	Metclaf & Eddy
Periodo de diseño 2013 - 2035	m ³ /día	10627,2	Caudal máximo horario	Cumple	Resolución 0330

Nota: Elaboración propia

Desarenador. Flujo horizontal gravitacional

Área superficial

$$As = LxB$$

As = Area superficial

L = Longitud del desarenador

B = Ancho del canal

$$As = 2,2m \times 2m = 4,40m^2$$

Carga superficial

$$Cs = \frac{Q}{As} = \frac{0,123 \frac{m^3}{s}}{4,40m^2} = 0,028 \frac{m}{s} = 2419,2 \frac{m}{dia}$$

Velocidad de sedimentación

$$V_s = \frac{Q}{As} = \frac{0,123 \frac{m^3}{s}}{4,4m^2} = 0,028 \frac{m}{s}$$

Velocidad horizontal de diseño

$$V = 0,3 \frac{m}{s} \text{ Resolución 0330 de 2017 y Metcalf y eddy (p.523)}$$

Tiempo de retención

$$\text{Tiempo de retencion} = \frac{As * h}{Q} = \frac{4,40m^2 * 0,9m}{0,123m^3} = 30 \text{ Segundos}$$

h = Altura efectiva

Área de flujo de control

$$a = \sqrt[3]{\frac{Q^2 * w}{g}} = \sqrt[3]{\frac{\left(0,123 \frac{m^3}{s}\right)^2 * 0,15m}{9,81 \frac{m}{s^2}}} = 0,06m^2$$

Profundidad critica – sección de control

$$dc = \frac{a}{w} = \frac{0,06m^2}{0,15m} = 0,4m$$

Profundidad del canal desarenador

$$H = \frac{3,1 * dc}{2} * \frac{v^2}{2 * g} = \frac{3,1 * 0,4m}{2} * \frac{0,3^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,61m$$

Diámetro de la menor partícula a sedimentar

$$V_s = \frac{g}{18} * \frac{\rho_{arena} - \rho_{H_2O}}{\mu} * d^2$$

$$0,028 \frac{m}{s} = \frac{9,81 \frac{m}{s^2}}{18} * \frac{2,65 \frac{g}{cm^3} - 1 \frac{g}{cm^3}}{0,01003 \frac{g}{cm * s}} * d^2$$

$$d = 0,017cm = 0,17 mm$$

Verificación.

Tabla 16.
Verificación parámetros de diseño (Desarenador)

Desarenador					
Parámetro	Unidad	Valores de diseño y resultados	Intervalo	Cumple	Criterio
Unidades	Un	2	≥ 2	Cumple	Romero
Velocidad horizontal	m/s	0,3	0,3	Cumple	Resolución 0330
Menor partícula a sedimentar	mm	0,17	$< 0,3$	Cumple	Resolución 0330
Velocidad de sedimentación	m/s	0,028	0,03	No cumple	Resolución 0330
Profundidad Canal	m	0,61	N/A	Cumple	La profundidad del canal construido es de 1,65m
Periodo de diseño 2013 - 2035	m ³ /día	10627,2	Caudal máximo horario	Cumple	Resolución 0330

Nota: Elaboración propia

Canaleta Parshall.

La canaleta Parshall tiene las siguientes características

$$W = 9''$$

$$A = \text{Longitud de las paredes en la seccion convergente} = 0,879m$$

$$a = \text{Ubicacion del punto de medicion} H_a = 0,587m$$

$$B = \text{Longitud de la seccion convergente} = 0,864m$$

$$C = \text{Ancho de la salida}$$

$$D = \text{Ancho de la entrada de la seccion convergente} = 0,575m$$

$E = \text{profundidad total} = 0,762\text{m}$

$T = \text{Longitud de la garganta} = 0,305\text{m}$

$G = \text{Longitud de la seccion divergente} = 0,457\text{m}$

$H = \text{Longitud de las paredes de la seccion divergente} = \text{No se reporta}$

$K = \text{Diferencia de elevacion entre la salida y la cresta} = 0,076\text{m}$

$M = \text{Longitud de la transicion de entrada} = 0,305\text{m}$

$N = \text{profundidad de la cubeta} = 0,114\text{m}$

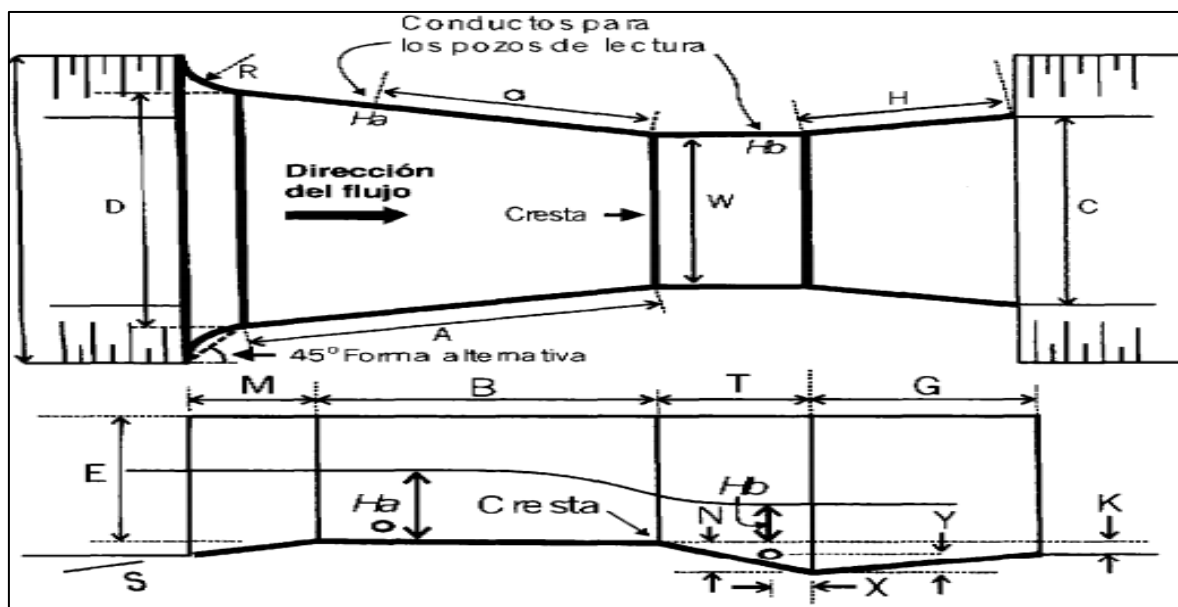
$P = \text{Ancho de la entrada de transicion} = 1,08\text{m}$

$R = \text{Radio de curvatura} = 0,406\text{m}$

$X = \text{Abscisa del punto de medicion } H_b = 0,51\text{m}$

$Y = \text{Ordenada del punto de medicion} = 0,76\text{m}$

Figura 23.
Canaleta Parshall



Nota. Canaleta tipo Parshall para la medición de caudal. Recuperado de IMTA.

Sumergencia.

$$S = \frac{H_b}{H_a}$$

$H_a = \text{Altura del agua en la seccion convergente}$

$H_b =$ Altura del agua en la garganta

$$0,123 \frac{m^3}{s} = 0,535 * H_a^{1.53} \rightarrow H_a = 0,38m$$

Sumergencia máxima permitida 60%

$$H_b = S * H_a = 0,6 * 0,38 = 0.23m$$

Verificación.

Tabla 17.
Verificación parámetros de diseño (Canaleta Parshall)

Canaleta Parshall					
Parámetro	Unidad	Valores de diseño y resultados	Intervalo	Cumple	Criterio
Caudal	L/s	2,55 -251,9	N/A	Cumple	Caudal máximo a medir 123 L/s
Sumergencia	Ha = m	0,38	N/A	Cumple	Ha > Hb, no trabaja ahogada
	Hb = m	0,23			
Periodo de diseño 2013 - 2035	m3/día	10627,2	Caudal máximo horario	Cumple	Resolución 0330

Nota. Elaboración propia.

Para verificar los parámetros del tanque de aireación y del tanque clarificador (sedimentador secundario), se toman los valores de diseño (48.1 L/s) y los valores calculados de los caudales máximos horarios hasta el periodo de diseño de las estructuras (2013 – 2025), los cuales deben ser adoptados para el diseño de los tanques de acuerdo a la resolución actual.

Tanque de aireación.

Tiempo de retención.

$$td = \frac{V}{Q} = \frac{1411 m^3}{4155.84 m^3} = 0.34 dia = 8.16 horas$$

$td =$ tiempo de retencion

$V =$ Volumen del tanque de aireacion

$Q =$ Caudal maximo horario

Tiempo promedio de retención celular o edad de lodos

$$\theta_c = \frac{V}{Q_w} = \frac{1411 \frac{m^3}{\text{dia}}}{51 \frac{m^3}{\text{dia}}} = 27,66 \text{ dias}$$

$Q_w =$ Caudal de lodo dispuesto

Carga volumétrica orgánica

$$COV = \frac{Q S_o}{V X} = \frac{4155.84 \frac{m^3}{\text{dia}} * 275 \frac{mg}{l}}{1411m^3 * 3164 \frac{mg}{l}} = 0,26 \frac{Kg DBO}{m^3 \text{ dia}}$$

$S_o =$ DBO del agua residual cruda

$X =$ SSVLM: Solidos suspendidos volatiles en el tanque de aireacion

Verificación. Según los parámetros de diseño.

Tabla 18.
Verificación parámetros de diseño (Tanque de aireación)

Tanque de aireación					
Parámetro	Unidad	Valores de diseño y resultados	Intervalo	Cumple	Criterio
Tiempo de retención	Horas	8.16	18 - 36	No cumple	Reynolds/Richards
			> 20	No cumple	Resolución 0330
Tiempo promedio de retención celular	Días	27,66	20 - 30	Cumple	Reynolds/Richards
			20 - 40	Cumple	Resolución 0330
Carga volumétrica orgánica	kg DBO / m3 día	0,26	0,16 - 0,4	Cumple	Reynolds/Richards
			0,1 - 0,3	Cumple	Resolución 0330
Solidos suspendidos volátiles	mg/L	3164	3000 - 6000	Cumple	Reynolds/Richards
			2000 - 5000	Cumple	Resolución 0330

Tanque de aireación					
Parámetro	Unidad	Valores de diseño y resultados	Intervalo	Cumple	Criterio
Eficiencia de remoción de DBO5	%	95	75 - 95	Cumple	Reynolds/Richards
F/M (Relación alimento/microorganismos)	kgDBO/kg MLVSS.d	0,117	0,05 - 0,15	Cumple	Reynolds/Richards
Periodo de diseño 2013 - 2025	m3/día	4147.2	Caudal medio diario	Cumple	Resolución 0330

Nota. Elaboración propia

Con las ecuaciones anteriores se realiza la verificación de los parámetros a partir de los caudales calculados en la tabla 14.

Verificación. Según los caudales proyectados

Tabla 19.

Verificación parámetros mediante caudales proyectados (Tanque de Aireación)

Tanque de aireación					
Año	QMH (m3/día)	Tiempo de retención (Horas)	Criterio según resolución > 20 (Horas)	Carga volumétrica orgánica (kg DBO/m3 día)	Criterio según resolución 0.1-0.3 (kg DBO/m3 día)
2019	4166,9	8,13	No cumple	0,26	Cumple
2020	4297,3	7,88	No cumple	0,26	Cumple
2021	4432,6	7,64	No cumple	0,27	Cumple
2022	4572,7	7,41	No cumple	0,28	Cumple
2023	4718,2	7,18	No cumple	0,29	Cumple
2024	4868,9	6,96	No cumple	0,30	Cumple
2025	5025,1	6,74	No cumple	0,31	No cumple

Nota. Elaboración propia.

Tanque clarificador – sedimentador secundario

Área superficial

$$A_s = \frac{\pi}{4} * d^2 = \frac{\pi}{4} * (18m)^2 = 254,47 m^2$$

Carga superficial.

Caudal máximo horario

$$CS = \frac{Q}{As} = \frac{4147,2 \frac{m^3}{dia}}{254,47 m^2} = 16,3 \frac{m^3}{m^2 dia}$$

Caudal medio diario

$$CS = \frac{Q}{As} = \frac{1728 \frac{m^3}{dia}}{254,47 m^2} = 6,8 \frac{m^3}{m^2 dia}$$

Volumen del tanque

$$V = As * Profundidad = 254,47 * 4 m = 1017,88 m^3$$

Tiempo de retención

$$td = \frac{V}{Q} = \frac{1017,88 m^3}{4147,2 \frac{m^3}{dia}} = 0,245 dia = 5,88 horas$$

Pendiente de fondo.

$$Pendiente = \frac{Altura}{Distancia horizontal} * 100\% = \frac{1m}{12m} * 100\% = 12\%$$

Verificación. Según los parámetros de diseño

Tabla 20.

Verificación parámetros de diseño (Clarificador)

Tanque de clarificador o Sedimentador secundario					
Parámetro	Unidad	Valores de diseño y resultados	Intervalo	Cumple	Criterio
Pendiente fondo del tanque	%	12	5 - 10	No cumple	Resolución 0330
Diámetro del tanque	m	18	3 - 45	Cumple	Resolución 0330

DIAGNÓSTICO PTAR LA CARBONERA, LA MESA CUNDINAMARCA

Tanque de clarificador o Sedimentador secundario					
Parámetro	Unidad	Valores de diseño y resultados	Intervalo	Cumple	Criterio
Profundidad	m	4	2,5 - 4	Cumple	Resolución 0330
			3,7 - 4,6	Cumple	Reynolds/Richards
Carga superficial - Caudal medio diario	m3/m2/día	6,8	16,3 - 32,6	No cumple	Reynolds/Richards
			16 - 28	No cumple	Resolución 0330
Carga superficial - Caudal máximo horario	m3/m2/día	16,3	40,8 - 81,6	No cumple	Reynolds/Richards
			40 - 64	No cumple	Resolución 0330
Tiempo de retención	Horas	5.88	2 – 3.5	No cumple	Resolución 0330
Periodo de diseño 2013 - 2025	m3/día	4147,2	Caudal máximo horario	Cumple	Resolución 0330

Nota. Elaboración propia

Teniendo en cuenta las ecuaciones anteriores se realiza la verificación de los parámetros a partir de los caudales proyectados en la tabla 14.

Verificación. Según los caudales proyectados

Tabla 21.

Verificación parámetros mediante caudales proyectados (Tanque clarificador)

Tanque de clarificador o Sedimentador secundario								
Año	QMD (m3/día)	QMH (m3/día)	Desbordamiento superficial QMH m3/m2/día	Criterio según resolución 40,8 - 81,6 m3/m2/día	Desbordamiento superficial QMD m3/m2/día	Criterios según resolución 16,3 - 32,6 m3/m2/día	Tiempo de retención (Horas)	Criterio según resolución 2 – (3,5 Horas)
2019	2976,3	4166,9	16,37	No cumple	11,69	No Cumple	5,86	No Cumple
2020	3069,5	4297,3	16,88	No cumple	12,06	No Cumple	5,68	No Cumple
2021	3166,1	4432,6	17,41	No cumple	12,44	No Cumple	5,51	No Cumple
2022	3266,2	4572,7	17,96	No cumple	12,83	No Cumple	5,34	No Cumple
2023	3370,2	4718,2	18,54	No cumple	13,24	No Cumple	5,17	No Cumple
2024	3477,8	4868,9	19,13	No cumple	13,66	No Cumple	5,01	No Cumple
2025	3589,3	5025,1	19,74	No cumple	14,10	No Cumple	4,86	No Cumple

Nota. Elaboración propia

TERCERA ETAPA: Analizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a la entrada y salida de la PTAR para determinar la eficiencia del tratamiento de la planta.

El análisis de la eficiencia de la PTAR se obtendrá de acuerdo con los resultados realizados por un laboratorio acreditado contratado por parte de la empresa ERAT, los cuales se realizan 2 veces por año y analiza los parámetros pH, temperatura, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno DBO, demanda química de oxígeno DQO, Aceites y grasas, SAAM, SST, hidrocarburos, alcalinidad, SS, Ortofosfatos, fósforo total, nitritos, nitratos, nitrógeno y nitrógeno total en la entrada con cota 1158,8 y salida con cota 1150,3 de la planta de tratamiento. (Ver Anexo 6).

En la resolución 631 de 2015 se establecen los parámetros y valores límites permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales, para efectos comparativos se toma los valores con una carga menor a 625,00 kg/día de DBO₅, como resultado de los ensayos realizados el 26/05/2017 por H2O es vida SAS y los realizados el 03/05/2018 por Asebiol. 7, de acuerdo con los valores obtenidos se calcula la eficiencia de remoción de las cargas contaminantes diarias de DBO, SST, NKT, P, DQO, grasas y aceites.

$$Eficiencia = \left(1 - \left(\frac{Ce}{Cs} \right) \right) * 100\%$$

Donde:

Ce: Carga contaminante de entrada diaria

Cs: Carga contaminante de salida diaria

La carga contaminante diaria se obtiene a partir de la siguiente ecuación establecida por el decreto 2667 de 2012.

$$CC = Q * C * 0.0036 * t$$

DIAGNÓSTICO PTAR LA CARBONERA, LA MESA CUNDINAMARCA

Donde:

CC: Carga contaminante (Kg/día)

Q: Caudal Promedio (L/s)

C: Concentración de la sustancia contaminante (mg/L)

t: Tiempo de vertimiento (h)

Tabla 22.
Parámetros de control 26/05/2017

PTAR LA CARBONERA - INFORME No. 21652 DE 26/05/2017					
PARAMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA	LIMITES RESOLUCION 0631 DE 2015	OBSERVACION
Caudal	L/S	0,978	0,817	N/E	N/A
Temperatura	°C	24 - 25,6	24,9 - 25,6	< 40	CUMPLE
pH	Unidades	7,38 - 8,29	7,38 - 7,72	6-9	CUMPLE
DBO ₅	O ₂ mg/L	221	63	90	CUMPLE
DQO	O ₂ mg/L	410	158	180	CUMPLE
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	290	34	90	CUMPLE
Solidos Sedimentables	S. SED ml/l	0,2 - 0,8	< 0,1	5	CUMPLE
Grasas y Aceites	mg/L	22	< 8	20	CUMPLE
Tensoactivos Aniónicos - SAAM	mg/L	9,7	1,3	Análisis y reporte	N/A
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/L	-	13,2	Análisis y reporte	N/A
Fósforo Reactivo Total	mg/L	-	3,6	Análisis y reporte	N/A
Fósforo Total	mg/L	-	4,42	Análisis y reporte	N/A
Hidrocarburos Totales	mg/L	-	< 8	Análisis y reporte	N/A
Nitratos	mg/L	-	3,46	Análisis y reporte	N/A
Nitritos	mg/L	-	0,022	Análisis y reporte	N/A
Nitrógeno amoniacal - Amonio	mg/L	-	11,8	Análisis y reporte	N/A
Nitrógeno Total	mg/L	-	14	Análisis y reporte	N/A

Nota: Valores obtenidos el 26/05/2017 por H2O es vida SAS laboratorio certificado. Adaptado de Empresa Regional Aguas del Tequendama.

El 14 de marzo de 2018 la empresa Asebiol realizo la medición in Situ de pH, caudal, temperatura y solidos sedimentables en un periodo de 8 horas en la entrada y la salida de la PTAR.

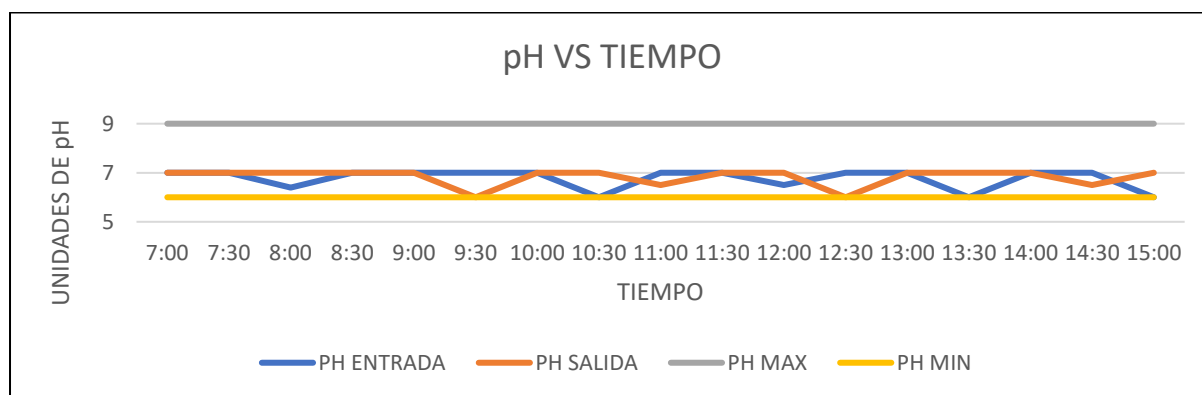
DIAGNÓSTICO PTAR LA CARBONERA, LA MESA CUNDINAMARCA

Tabla 23.
Mediciones in situ

ENTRADA - PTAR					SALIDA - PTAR				
HORA	pH	CAUDAL (L/s)	TEM. °C	SOLIDOS SEDIMENTABLES ml/L	HORA	PH	CAUDAL (L/s)	TEM °C	SOLIDOS SEDIMENTABLES ml/L
7:00	7	3,6	24	3	7:30	7	2,67	24	0,1
7:30	7	3,4	24	-	8:00	7	3,17	24	-
8:00	6,4	3	24	4	8:30	7	2,5	24	0,2
8:30	7	2,2	24	-	9:00	7	1,9	24	-
9:00	7	5,5	24	3	9:30	7	3,8	25	0,1
9:30	7	3,17	25	-	10:00	6	2,67	25	-
10:00	7	3,4	25	4	10:30	7	1,78	25	0,2
10:30	6	3,6	25	-	11:00	7	2	25	-
11:00	7	3,17	25	5	11:30	6,5	2,29	26	0,1
11:30	7	3,17	26	-	12:00	7	1,83	26	-
12:00	6,5	3,8	26	4	12:30	7	2,57	26	0,2
12:30	7	3,8	27	-	13:00	6	2,29	27	-
13:00	7	3	28	3	13:30	7	2,5	27	0,1
13:30	6	2,2	28	-	14:00	7	1,22	28	-
14:00	7	3,17	28	4	14:30	7	2,38	28	0,2
14:30	7	3,6	28	-	15:00	6,5	2,67	28	-
15:00	6	3	28	4	15:30	7	2,29	28	0,1

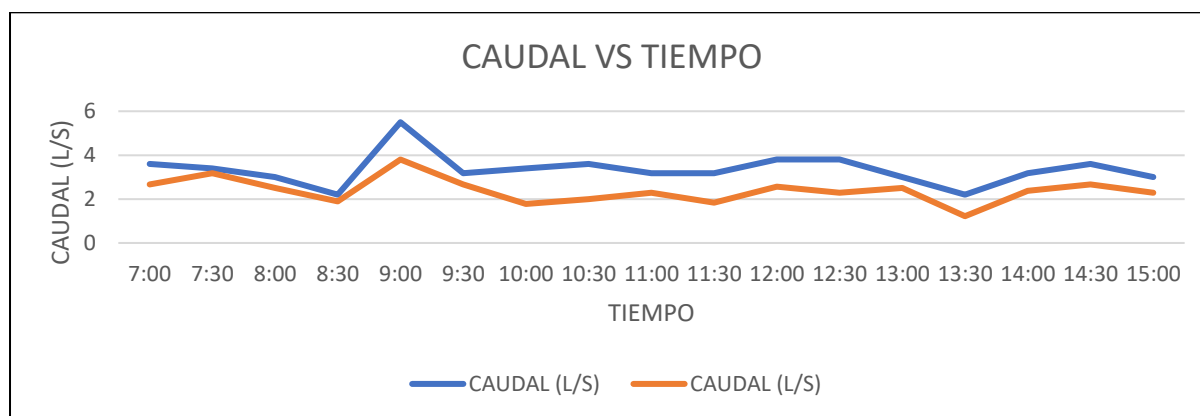
Nota: Mediciones de pH, caudal, temperatura y de solidos sedimentables en un periodo de 8 horas. Adaptado de Empresa Regional Aguas del Tequendama.

Figura 24.
pH vs Tiempo



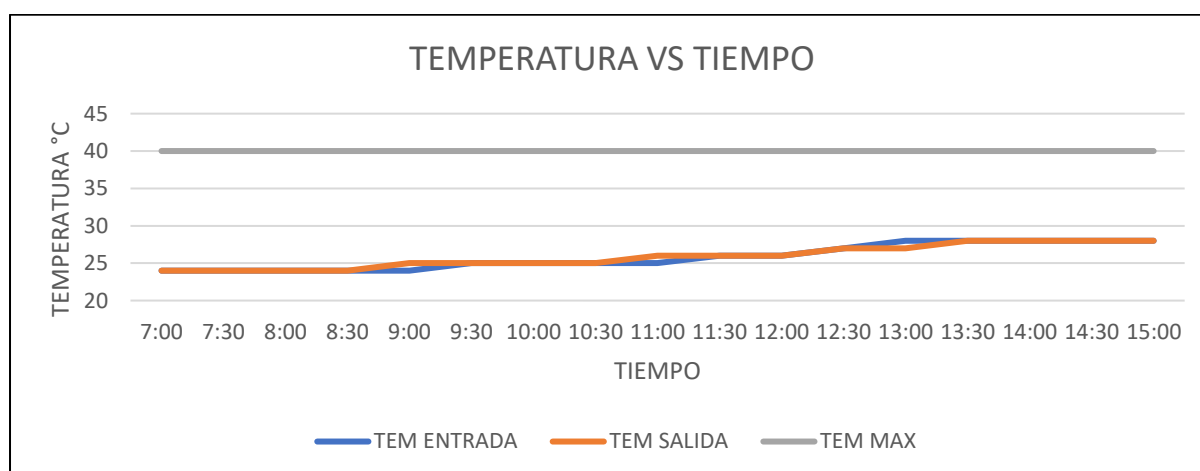
Nota: pH vs Tiempo medido en campo. Elaboración propia

Figura 25.
Caudal vs Tiempo



Nota: Caudal vs Tiempo medido en campo. Elaboración propia

Figura 26.
Temperatura vs Tiempo



Nota: Temperatura vs Tiempo medido en campo. Elaboración propia

Posteriormente se realiza la toma de muestras en la entrada y salida por Asebiol para determinar los parámetros fisicoquímicos del agua residual.

Tabla 24.
Parámetros de control 3/05/2018

PARAMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA	LIMITES RESOLUCION 0631 DE 2015	OBSERVACION
Caudal	L/S	3,34	2,38	N/E	N/A
Temperatura	°C	25,8	25,9	< 40	CUMPLE
pH	Unidades	6,76	6,82	6-9	CUMPLE
DBO ₅	O ₂ mg/L	377	81	90	CUMPLE
DQO	O ₂ mg/L	572	111	180	CUMPLE

DIAGNÓSTICO PTAR LA CARBONERA, LA MESA CUNDINAMARCA

PARAMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA	LIMITES RESOLUCION 0631 DE 2015	OBSERVACION
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	222	52	90	CUMPLE
Sólidos Sedimentables	S. SED ml/l	3,78	0,14	5	CUMPLE
Grasas y Aceites	mg/L	78	17	20	CUMPLE
Tensoactivos Aniónicos - SAAM	mg/L	4,33	4,1	Análisis y reporte	N/A
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/L	42	23,2	Análisis y reporte	N/A
Fósforo Reactivo Total	mg/L	9,83	0,16	Análisis y reporte	N/A
Fósforo Total	mg/L	12,7	0,2	Análisis y reporte	N/A
Hidrocarburos Totales	mg/L	<10	<10	Análisis y reporte	N/A
Nitratos	mg/L	4,7	2,5	Análisis y reporte	N/A
Nitritos	mg/L	< 0,007	< 0,007	Análisis y reporte	N/A
Nitrógeno amoniacal - Amonio	mg/L	32,5	17,9	Análisis y reporte	N/A
Nitrógeno Total	mg/L	44,5	25,7	Análisis y reporte	N/A

Nota: Valores obtenidos el 26/05/2018 por H2O es vida SAS laboratorio certificado. Adaptado de Empresa Regional Aguas del Tequendama.

Con los datos obtenidos de DBO, SST, NKT, P, DQO, grasas y aceites se realiza la siguiente tabla donde se compara la concentración de diseño con la concentración obtenida en laboratorio tomando un caudal de entrada de 3,34 l/s y de salida de 2.38 l/s.

*Tabla 25.
Comparación eficiencia*

PARAMETRO	UNIDAD	VALORES DE DISEÑO		VALORES DE LABORATORIO		EFICIENCIA DE DISEÑO (%)	EFICIENCIA ACTUAL (%)
		ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA		
DBO ₅	Kg/día	490	24	108.77	16.67	95	84.6
DQO	Kg/día	-	-	165.03	22.82	-	86.2
SST	Kg/día	453	23	64.05	10.7	95	83.3
NKT	Kg/día	144	17	12.12	4.79	88	60
P	Kg/día	34	7	3.66	0,04	79	99
Grasas y aceites	Kg/día	-	-	22.5	3.5	-	84.4

Nota: Con los datos obtenidos en laboratorio se realiza la comparación de la eficiencia de diseño con la eficiencia actual de la planta de tratamiento. Elaboración propia.

Con los datos obtenidos de la eficiencia se observa que la planta no está funcionando al 100% con respecto a la eficiencia de diseño, debido a esto es necesario realizar la verificación de la eficiencia por cada unidad de tratamiento.

CUARTA ETAPA: Manual que permita la orientación para el mantenimiento de los equipos electromecánicos de la planta.

Un plan de mantenimiento es una de las partes más importantes para el funcionamiento adecuado de una planta de tratamiento, este debe contener un mantenimiento preventivo y rutinario con las instrucciones de como operar y mantener el equipo existente. Este plan debe ser realizado por un operador con cierto grado de escolaridad que le permita entender conceptos fundamentales en el tratamiento de agua residual, además debe estar bajo la supervisión de un ingeniero. Si el equipo existente requiere un mantenimiento específico el operador debe solicitar al ingeniero a cargo el personal capacitado para esta labor.

Personal. El personal encargado de la operación y mantenimiento de la planta debe tener la certificación de competencias laborales ya sea por el SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje) o cualquier organismo certificado legalmente en competencias laborales. En caso de que el operador tenga más de 12 meses de labor debe estar certificado en su ocupación y si es un operador nuevo se debe exigir la certificación o el diploma para el cargo que va a ocupar. La capacitación a cargo de la empresa debe establecerse en un periodo de un año y estructurarse en los primeros 3 meses del año, además debe existir una política de vacunación contra el tétano, tuberculosis, fiebre tifoidea, salmonelosis, leptospirosis y hepatitis A. Se recomienda la utilización de repelente contra insectos para prevenir el dengue o el paludismo.

Riesgos. Es importante que el operador conozca los riesgos presentes en la operación y mantenimiento de la planta debido a la naturaleza del agua a tratar. Los riesgos que se debe entender el operador son los siguientes:

Tabla 26.
Riesgos en una PTAR

RIESGO	CAUSA
Infecciones	Inhalación de Patógenos: Contacto con patógenos con piel, ojos, quemaduras, cortadas, raspones y boca
Daño físico	Caídas y resbalones: Movimiento de maquinaria, Levantar o empujar de forma inapropiada, acción repetitiva y ahogamiento
Espacios confinados	Acceso y salidas limitadas, ventilación pobre, no apto para ser ocupado por trabajadores
Espacios con deficiencia de oxígeno	Ventilación limitadas, reacciones químicas, alta temperatura o humedad
Exposición a químicos, gases y vapores tóxicos, corrosivos o nocivos	Químicos, reacciones químicas, desechos industriales, laboratorio, carencia de ventilación
Mezclas explosivas de gas	Ventilación deficiente, fuente de ignición
Fuego	Almacenamiento inadecuado de materiales químicos junto a una fuente de ignición
Descargas eléctricas	Equipo defectuoso, aislamiento insuficiente, corto circuito
Ruido	Emitida por los diferentes equipos, amplificación por espacio confinado

Nota: Riesgos y causas presentes en una planta de tratamiento de agua residual. Adaptado de la dirección de operación de plantas de tratamiento de agua residual – Comisión estatal del agua (México)

Posteriormente se debe entender el riesgo de las sustancias químicas que se manejan en el proceso de tratamiento, estas se clasifican de acuerdo con el daño que pueden causar y están representadas en colores, el azul identifica el riesgo para la salud, el rojo el riesgo de inflamabilidad, el amarillo el riesgo de reactividad y el blanco un riesgo especial, a las primeras tres divisiones se le asigna un numero de acuerdo con el peligro de la sustancia, por lo tanto la hoja de seguridad suministrada por el proveedor de las sustancias químicas debe estar al alcance del operador para su consulta y entendimiento.

Figura 27.
Rombo de seguridad



Nota: Rombo de seguridad para identificar el riesgo de sustancias químicas. Recuperado de la norma NFPA 704

Tabla 27.
Sustancias químicas utilizadas

SUSTANCIA QUIMICA	USO	MANEJO
Ácidos: clorhídrico, nítrico, fosfórico y sulfúrico	Ajuste de pH y limpieza de equipos	Protección personal para prevenir contacto, no mezclar con sustancias alcalinas, no agregar agua a las concentraciones acidas, agregar lentamente el ácido al agua
Corrosivos: hidróxido de calcio, hidróxido de sodio y óxido de calcio	Coagulantes, ajuste de pH, limpieza de filtros y neutralización de derrames de ácidos	Protección personal para prevenir contacto e Inhalación de vapores, al momento de mezclar con agua no realizar este procedimiento en una área cerrada
Polímeros: Polvo y líquidos	Deshidratación de lodos	Protección personal para prevenir contacto e Inhalación de vapores, si la sustancia cae al piso lavar con grandes cantidades de agua
Cloro	Desinfección	Protección personal para prevenir contacto e Inhalación de vapores, evitar que los recipientes de la sustancia estén expuestos al sol

Nota: sustancias químicas utilizadas en el tratamiento de agua residual por lodos activados. Elaboración propia.

Elementos de protección personal. Como consecuencia de lo anterior es importante que el operador utilice los elementos de protección personal (EPP) con el fin de proteger las diferentes partes del cuerpo que están expuestas a un contacto directo con los factores de riesgos. Estos elementos generalmente no evitan un accidente o el contacto con sustancias, pero ayudan a que la lesión sea menos grave.

- **EPP para la cabeza**

- Casco de seguridad: Exposición a golpes
- Gorro o cofia: Exposición a humedad o bacterias

- **EPP para ojos y cara**

- Gafas de seguridad: Exposición a proyección de partículas
- Monogafas de seguridad: Exposición a salpicaduras de productos químicos
- Careta de seguridad: Exposición a químicos en grandes cantidades

- **EPP para el aparato respiratorio**

- Mascarilla desechable: Exposición a partículas suspendidas
- Respirador purificante: Exposición a gases, vapores, humos y neblinas
- Respiradores autocontenidos: Exposición a lugares con poco oxígeno

- **EPP para oídos**

- Premoldeados: Disminuyen 27 dB
- Moldeados: Disminuyen 33 dB
- Tipo Copa u Orejeras: Atenúan el ruido 33 dB

- **EPP para manos**
 - Guantes resistentes a productos químicos: Protegen las manos contra corrosivos, ácidos, aceites y solventes
 - Guantes de plástico desechables: Protegen contra irritantes suaves

- **EPP para pies**
 - Botas plásticas con putera de acero: Exposición a químicos y caída de objetos pesados

Adicionalmente el operador debe vestir un overol de dril o gabardina en la cual debe ir plasmado el nombre del trabajador y de la empresa para su identificación. Así mismo el casco debe tener la misma información más el nombre de la ARL y grupo sanguíneo.

Monitoreo de la calidad del agua. Se debe realizar el monitoreo de la calidad del afluente y efluente para detectar las posibles fallas operacionales, el ingeniero encargado del funcionamiento de la planta debe contratar un laboratorio acreditado 2 veces al año para recoger y dar información lo más detallada posible acerca de la eficiencia en el proceso de remoción de los parámetros establecidos por la norma 0631 de 2017, en el informe se debe incluir las cargas de dimensionamiento para determinar si la planta está operando de forma correcta.

- **Cargas de dimensionamiento.** Se resumen las condiciones de diseño que se utilizaron para el dimensionamiento del tratamiento por lodos activados.

*Tabla 28.
Consideraciones de diseño*

		2013 medio	2013 máximo horario	2025 medio	2025 máximo diario	2035 medio	2035 máximo diario
Caudal medio	L/s	15	15	30	30	45	45
Infiltración	L/s	5	5	10	10	15	15
Caudales de diseño	L/s	20	23,75	40	47,5	60	71,25
	m3/d	1,728	2,052	3,456	4,104	5,184	6,156

DIAGNÓSTICO PTAR LA CARBONERA, LA MESA CUNDINAMARCA

		2013 medio	2013 máximo horario	2025 medio	2025 máximo diario	2035 medio	2035 máximo diario
Coefficiente de máximo horario		2,88	2,88	2,57	2,57	2,4	2,4
Caudal máximo horario de diseño	L/s	48,1	48,1	87,2	87,2	123	123
Aporte unitario de DBO5	g/h/d	40	40	40	40	40	40
Carga de DBO	Kg/d	480	480	960	960	1440	1440
Coefficientes		1	1,2	1	1,2	1	1,2
Carga DBO de diseño	Kg/d	480	576	960	1,152	1,44	1,728
Carga DBO máxima horaria diseño	Kg/d	38	37	77	75	115	112
SST/DBO		90%	90%	90%	90%	90%	90%
NTK/DBO		30%	30%	30%	30%	30%	30%
P/DBO		5%	5%	5%	5%	5%	5%
SSV/SST		75%	75%	75%	75%	75%	75%
NH3/NKT		67%	67%	67%	67%	67%	67%
Concentraciones de diseño							
DBO	mg/L	278	281	278	281	278	281
SST	mg/L	250	253	250	253	250	253
NKT	mg/L	82,3	84,2	83,3	84,2	83,3	84,2
P	mg/L	13,9	14	13,9	14	13,9	14

Nota: Consideraciones de diseño para el tratamiento de agua residual domestica por lodos activados. Adaptado de Empresa Regional Aguas del Tequendama.

- **Monitoreo del proceso aeróbico.** Para tener un control adecuado de la eficiencia de la planta es necesario realizar un muestreo por parte del operario sobre los siguientes parámetros:

*Tabla 29.
Monitoreo frecuente*

Parámetro	Frecuencia	Observación
Observación del afluente	Cada hora	El efluente debe tener un color rojizo claro
Temperatura	Cada 6 horas	
pH	2 veces al día	Debe ser menor a 9 y mayor a 6
Oxígeno disuelto	2 veces al día	En el tanque de aireación debe ser de 2 a 3 mg/L
DBO	Cada 3 meses	Muestra del efluente
DQO	Cada 3 meses	Muestra del efluente
Nitrógeno amoniacal	Cada 3 meses	Muestra efluente del clarificador
SST	Cada 3 meses	En el tanque de aireación
Índice de densidad de lodos (IDL)	2 veces por semana	En el tanque de aireación
Índice volumétrico de lodos (IVL)	2 veces por semana	En el tanque de aireación

Nota: Monitoreo que se debe realizar a cada una de las unidades de tratamiento. Adaptado de HC Ingenieros

Estos parámetros deben ser medidos con un multiparámetro de calidad de agua por el operador en turno con supervisión del ingeniero.

Herramientas. Para la realización del mantenimiento preventivo y rutinario es necesario que el operador cuente con herramientas necesarias que le faciliten el mantenimiento, estas herramientas solo serán utilizadas para lo que fueron diseñadas y deben permanecer en buenas condiciones. Las herramientas básicas son las siguiente:

- Martillo y mazo
- Cincel y punzones
- Llaves de tuercas
- Alicates
- Desarmadores
- Serruchos manuales
- Taladro
- Pinzas corta pernos
- Carretilla
- Manguera con boquilla
- Recolector de nata
- Flexómetro
- Nivel de mano
- Detector de gases
- Graseira manual
- Pala
- Pica
- Escoba
- Trapero

Mantenimiento. “El mantenimiento se define como el arte de mantener los equipos de la planta, estructuras y todos los accesorios en condiciones adecuadas para prestar los servicios para los cuales fueron propuestos” (Romero Rojas, 2010, p. 183). Por esta razón el mantenimiento debe incluir ciertas tareas que deben estar relacionadas con:

- **Aseo General.** La infraestructura y equipos deben estar limpios y en orden.
- **Lubricación.** Todo el equipo electromecánico de la planta debe estar lubricado adecuadamente.

- **Refrigeración.** Se debe garantizar una temperatura apropiada para el funcionamiento de los equipos, evitando que estos se recalienten.
- **Almacenamiento.** Se debe realizar un inventario de los equipos y repuestos, esto con el fin de evitar periodos prolongados entre reparaciones.

Mantenimiento equipo electromecánico.

Bomba sumergible (Pozo de bombeo agua clarificada).

*Tabla 30.
Tarjeta de mantenimiento bomba sumergible*

TARJETA DE MANTENIMIENTO		
Equipo:	Bomba sumergible	Bomba: Agua clarificada
Ubicación:	Pozo de bombeo	Modelo: SIHI-HALBERG. ZLND 040250 AB BJ3 0B
Capacidad	4 L/s	Diámetro descarga 40 mm
Tipo	Centrifuga	Motor 5 HP, 1750 RPM, 220/240 V
MANTENIMIENTO		
Tarea	Periodo	
Observación de los cables eléctricos	Semanal	
Lavado general con agua limpia	2 veces por semana	
Desmontar piezas para limpiar juntas	6 meses	
Limpiar tuercas y arandelas	6 meses	
Engrasar piezas	6 meses	
Colocar unidades de sellado nuevas en la zona del motor	6 meses	
Realizar revisión y montaje de la unidad	6 meses	
Reparación total de la bomba	5 años	
PROBLEMAS Y SOLUCIONES		
PROBLEMA	CAUSAS	SOLUCIONES
La bomba no enciende	Fusibles, cables eléctricos rotos, el motor puede estar quemado	Cambio de fusibles, cambio de cable por uno de más calibre, revisar la conexión y limpiar
No sale agua por la línea de descarga	Succión de aire, impulsor obstruido por basura, válvulas cerradas	Sumergir la bomba totalmente, realizar limpieza del pozo, verificar que las válvulas estén abiertas
Ruido en la bomba	Entrada tapada, la bomba no está lubricada, la bomba no se encuentra totalmente cebada	Verificación y limpieza de la entrada de la bomba, desarmar y lubricar piezas, llenar totalmente de líquido la tubería de succión
ABVERTENCIAS		
Verificar que la bomba se encuentre desconectada del suministro eléctrico antes de realizar el mantenimiento		
Utilizar los elementos de protección personal		
Si el problema no se soluciona se debe solicitar al ingeniero el personal capacitado para esta labor		

Nota: Elaboración propia.

Bomba de recirculación de lodos (RAS).

Tabla 31.
Tarjeta de mantenimiento bomba RAS

TARJETA DE MANTENIMIENTO



Equipo:	Bomba de recirculación de lodos (RAS)	Bomba:	Lodos al tanque de aireación
Ubicación:	Estación de Bombeo (WAS-RAS)	Modelo:	SIHI-HALBERG. ZLSD 100200 AB BJ3 0B E
Capacidad	22 L/s	Diámetro descarga	100 mm
Tipo	Centrifuga	Motor	5 HP, 1150 RPM, 220/240 V

MANTENIMIENTO

Tarea	Periodo
Inspección de temperatura, vibración y fugas	Diario
Observación de los cables eléctricos	Semanal
Lavado general con agua limpia	2 veces por semana
Verificar nivel de aceite	Semanal
Lubricación del acoplamiento	Semestral
Lubricación de cojinetes	Semestral
Cambio de empaques	Semestral
Cambio de aceite	Semestral
Reparación total de la bomba	5 años
Línea de recirculación inspeccionar ruidos, uniones y goteos	Diario

PROBLEMAS Y SOLUCIONES

PROBLEMA	CAUSAS	SOLUCIONES
La bomba no enciende	Fusibles, cables eléctricos rotos, el motor puede estar quemado	Cambio de fusibles, cambio de cable por uno de más calibre, revisar la conexión y limpiar
La bomba no descarga	Presencia de aire en la tubería y goteo, rotor gastado, viscosidad muy alta	Ajuste de conexiones, reemplace de rotor, aumentar velocidad de la bomba
Ruido en la bomba	Elemento extraño en la bomba, velocidad de giro muy alta, bomba y motor desalineado	Inspeccionar y extraer elemento extraño, reducir la velocidad de giro, realinear bomba y motor

ABVERTENCIAS

Verificar que la bomba se encuentre desconectada del suministro eléctrico antes de realizar el mantenimiento

Utilizar los elementos de protección personal

Si el problema no se soluciona se debe solicitar al ingeniero el personal capacitado para esta labor

Nota: Elaboración propia.

Bomba de extracción de lodos (WAS).

Tabla 32.
Tarjeta de mantenimiento bomba WAS

TARJETA DE MANTENIMIENTO



Equipo:	Bomba de extracción de lodos (WAS)	Bomba:	Lodos al deshidratador
Ubicación:	Estación de Bombeo (WAS-RAS)	Modelo:	SIHI-HALBERG. ZLSD 100200 AB BJ3 0B E
Capacidad	4 L/s	Diámetro descarga	32 mm
Tipo	Centrifuga	Motor	2.4 HP, 1750 RPM, 220/240 V
MANTENIMIENTO			
Tarea		Periodo	
Inspección de temperatura, vibración y fugas		Diario	
Observación de los cables eléctricos		Semanal	
Lavado general con agua limpia		2 veces por semana	
Verificar nivel de aceite		Semanal	
Lubricación del acoplamiento		Semestral	
Lubricación de cojinetes		Semestral	
Cambio de empaques		Semestral	
Cambio de aceite		Semestral	
Reparación total de la bomba		5 años	
Línea de recirculación inspeccionar ruidos, uniones y goteos		Diario	
PROBLEMAS Y SOLUCIONES			
PROBLEMA	CAUSAS	SOLUCIONES	
La bomba no enciende	Fusibles, cables eléctricos rotos, el motor puede estar quemado	Cambio de fusibles, cambio de cable por uno de más calibre, revisar la conexión y limpiar	
La bomba no descarga	Presencia de aire en la tubería y goteo, rotor gastado, viscosidad muy alta	Ajuste de conexiones, reemplace de rotor, aumentar velocidad de la bomba	
Ruido en la bomba	Elemento extraño en la bomba, velocidad de giro muy alta, bomba y motor desalineado	Inspeccionar y extraer elemento extraño, reducir la velocidad de giro, realinear bomba y motor	

ABVERTENCIAS

Verificar que la bomba se encuentre desconectada del suministro eléctrico antes de realizar el mantenimiento

Utilizar los elementos de protección personal

Si el problema no se soluciona se debe solicitar al ingeniero el personal capacitado para esta labor

Nota: Elaboración propia.

Sopladores de aireación.

*Tabla 33.
Tarjeta de mantenimiento sopladores*

TARJETA DE MANTENIMIENTO



Equipo:	Sopladores de aireación	Caudal unitario:	662 cfm
Ubicación:	Estación de aireación	Marca:	KAESER
Tipo	Lobulares de desplazamiento positivo	Fluido	Aire
Potencia motor	40 HP	Motor eléctrico	460V / 3 PH / 60 Hz
Numero de difusores	354	Diámetro difusores	9"
Presión diferencial	8,9 PSI	Velocidad del bloque	3.985 RPM

MANTENIMIENTO

Tarea	Periodo
Inspección de temperatura y vibración	Diario
Observación de los cables eléctricos	Semanal
Verificar estado de los difusores	2 veces al día
Limpieza de sopladores	Semanal
Limpieza de los difusores	1 vez al año
Lubricación de rodamientos "Recomendación del fabricante"	Semestral
Mantenimiento por personal capacitado	1 vez al año

PROBLEMAS Y SOLUCIONES

PROBLEMA	CAUSAS	SOLUCIONES
Aire insuficiente a través del sistema de aireación	Rotación incorrecta, velocidad inadecuada del sistema, ductos de aire obstruidos, impulsores dañados por abrasión	llamar personal capacitado para esta labor
Ruido en la maquina	Sobrecalentamiento de los rodamientos, sobre carga eléctrica	Agregar lubricante en los rodamientos, aumentar flujo de aire
Vibración	Falla en los rodamientos, motor desnivelado, sobre carga del motor	Cambio de rodamientos, nivelación del motor, inspección y reparación de fugas

ABVERTENCIAS

verificar que el soplador se encuentre desconectado del suministro eléctrico antes de realizar el mantenimiento

Utilizar los elementos de protección personal

Si el problema no se soluciona se debe solicitar al ingeniero el personal capacitado para esta labor

Nota. Elaboración propia.

Bandas de deshidratación de lodos.

Tabla 34.
Tarjeta de mantenimiento banda de deshidratación de lodos

TARJETA DE MANTENIMIENTO



Equipo:	Bandas de deshidratación de lodos	Tipo:	Filtro a bandas de tracción hidráulica
Ubicación:	Edificio de lodos	Marca:	ASHBROOK
Carga hidráulica	15-20 m ³ /h	Carga másica	80-90 kg/h
Ancho de banda	1m	Potencia	5 HP , 1750 RPM, 220/240V
MANTENIMIENTO			
Tarea		Periodo	
Inspección visual de lodos		Cada extracción de lodos	
Observación de los cables eléctricos		Semanal	
Limpieza exterior de la maquina		Cada extracción de lodos	
Limpieza de bandas		Cada extracción de lodos	
Inspección de ruidos, temperatura y vibraciones		Cada extracción de lodos	
Inspección de bandas para detectar desgaste		Cada extracción de lodos	
Limpieza del motor de agitación de polímeros		1 vez al año	
Lubricación de ruedas dentadas		3 meses	
Lubricación de rodillos de cojinete		3 meses	
Mantenimiento por personal capacitado		1 vez al año	
PROBLEMAS Y SOLUCIONES			

Al detectar problemas en el mecanismo es necesario solicitar al ingeniero personal capacitado para dicha labor

ABVERTENCIAS

- Verificar que el filtro a bandas se encuentre desconectado del suministro eléctrico antes de realizar el mantenimiento
- Utilizar los elementos de protección personal

Nota: Elaboración propia.

Medidas de higiene. Debido al contacto del operador con los diferentes microorganismos presentes en el tratamiento es necesario realizar una limpieza de las partes expuestas para prevenir infecciones virales y bacterianas.

- Evitar el contacto de los dedos con nariz, boca, ojos y oídos.
- Al momento de realizar el mantenimiento de los equipos que tengan contacto directo con el agua residual es necesario utilizar guantes.
- En caso de que el operador tenga alguna lesión como cortaduras en las manos se debe utilizar guantes.
- Antes de ingerir alimentos se debe realizar un adecuado lavado de manos preferiblemente con agua caliente .
- Se debe mantener las uñas cortas y libre de materiales extraños.
- Bañarse al terminar su turno de trabajo.

Conclusiones.

- Se realizó el diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual La Carbonera del municipio de La Mesa Cundinamarca de acuerdo con la metodología propuesta, donde se logra la clasificación de la infraestructura y localización mediante un sistema de información geográfica SIG-ArcGIS, así mismo se logra identificar la línea de aguas, lodos y la obtención del perfil hidráulico.
- La verificación de los parámetros de diseño determinó que el sistema de pretratamiento está diseñado para operar hasta el año 2035 donde el caudal máximo horario de diseño es de 123 l/s y el caudal proyectado es de 80.31; De acuerdo al último aforo realizado (3.34 L/s) las estructuras están trabajando al 2.7% de su capacidad.

- Con los datos calculados del caudal máximo horario proyectado hasta el año 2025 y con el caudal máximo horario de diseño, se determina que el tanque de aireación y el tanque clarificador superan su caudal máximo a tratar en el año 2020 (48.1 L/s). Con el último aforo realizado por la PTAR del 2018 (3.34L/s) se determina que las estructuras están trabajando al 6.94 % de su capacidad, por esta razón y por las eficiencias calculadas (80% de remoción) las estructuras son operativas hasta su periodo de diseño (2013-2025).
- A partir de la verificación de los parámetros del tanque de aireación y del tanque clarificador se evidencia que ninguno de los dos está cumpliendo con los tiempos de retención recomendados por la literatura y por la resolución 0330, por esta razón se debe realizar la verificación de los tiempos de retención a partir de trazadores que permitan determinar los tiempos de retención reales en los tanques.
- La información disponible analizada sobre los parámetros fisicoquímicos de la muestra tomada por un laboratorio acreditado en el 2018 del afluente y efluente demostró que la planta cumple con los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales exigidos por la resolución 631 de 2015.
- El manual de mantenimiento permite mediante sus fichas técnicas dar a conocer el comportamiento y manejo que se debe dar a cada uno de los equipos electromecánicos, permitiendo al operario actuar de manera eficiente en la ejecución del mantenimiento preventivo y rutinario. Además de proceder en caso de una falla mecánica que pueda perjudicar el funcionamiento adecuado de la planta.

Recomendaciones

- Debido a que la canaleta Parshall se encuentra sobredimensionada y tiene como lectura un caudal mínimo de 2.55 l/s y teniendo en cuenta las mediciones in situ realizadas en el 2018 donde el caudal mínimo es de 2.2 l/s, es necesario realizar el cambio del sensor ultrasónico de medición de caudal debido a que no funciona adecuadamente y no se tiene un control apropiado del caudal que entra a la planta.
- Se recomienda realizar semanalmente monitoreo de la calidad del agua del afluente y efluente sobre los parámetros de pH, DBO, DQO, SST, grasas y aceites con el fin de determinar posibles cambios en el funcionamiento que permita optimizar la eficiencia en el tratamiento.
- Se recomienda rediseñar el tanque clarificador (sedimentador secundario) para las dos etapas restantes 2025 y 2035, debido a que no cumple con los parámetros mínimos de diseño establecidos por la resolución 0330 de 2017.
- A partir de la verificación de los parámetros mínimos exigidos por la resolución 0330 de 2017 y por la literatura sobre cada estructura de tratamiento por lodos activados, se recomienda realizar un diagnóstico de tiempos de retención para cada estructura del tratamiento por medio de trazadores para verificar los tiempos de retención reales, cortos circuitos y zonas muertas del sistema de tratamiento.
- Debido a que la eficiencia de la planta no está cumpliendo con los valores de diseño se recomienda realizar el monitoreo de cada una de las unidades de tratamiento de

acuerdo con la tabla 17, con el fin de comparar los valores de eficiencia en cada unidad con la tabla 29 de la resolución 330 de 2017 donde se establece los intervalos de eficiencia mínima en las unidades de tratamiento de agua residual, generando de esta manera un informe que permita identificar que unidad de tratamiento no está funcionando adecuadamente.

- Se recomienda la ejecución de un programa el cual permita el monitoreo antes y después de las operaciones unitarias de tratamiento de acuerdo con el Artículo 217 de la resolución 330 de 2017 el cual establece un periodo de monitoreo no mayor a 6 meses.
- De acuerdo con el manual de mantenimiento y operación es necesario la elaboración de formatos que permitan tener un control de las labores realizadas por los operarios sobre cada uno de los equipo electromecánico.

Referencias

- Alcaldía de La Mesa - Cundinamarca. (29 de abril de 2012). *Sitio oficial de La Mesa en Cundinamarca - Colombia*. Recuperado el 25 de abril de 2018, de http://www.lamesa-cundinamarca.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=1365170
- DANE. (2005). *DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA*. Recuperado el 25 de abril de 2018, de Proyeccion de Población municipales por área.

- DartMouth, U. (s.f.). *comparative Summary of Biological Wastewater Treatment Technologies*. Obtenido de <http://www.dartmouth.edu/~cushman/courses/engs37/WWTP-comparison.pdf>
- *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*. (22 de 05 de 2005). Obtenido de DANE Informacion para todos: <https://www.dane.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/60-espanol/demograficas/censos>
- DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE NACIONES UNIDAS (ONU-DAES). (03 de agosto de 2010). *64/292. El derecho humano al agua y al saneamiento*. (A. General, Ed.) Recuperado el 02 de mayo de 2018, de http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292&Lang=S
- ERAT S.A. E.S.P. Empresa Regional Aguas del Tequendama. (2012). *Ingeniería de Detalle - Anexo I: Análisis de alternativas de tratamiento*. La Mesa, Cundinamarca . Recuperado el 18 de febrero de 2018
- ERAT S.A. E.S.P. Empresa Regional Aguas del Tequendama. (2012). *Ingeniería de Detalle - Memoria Descriptiva*. La Mesa, Cundinamarca. Recuperado el 18 de febrero de 2018
- ERAT S.A. E.S.P. EMPRESA REGIONAL AGUAS DEL TEQUENDAMA. (2012). *Ingeniería de Detalle - Memoria Descriptiva*. La Mesa, Cundinamarca. Recuperado el 18 de febrero de 2018
- ERAT S.A. E.S.P. Empresa Regional Aguas del Tequendama. (2016). *Tercer informe pormenorizado del estado de control interno, ley 1474 de 2011*. La Mesa, Cundinamarca. Recuperado el 25 de abril de 2018, de <http://www.periodismopublico.com/Cuarto-aniversario-de-Aguas-del-Tequendama-S-A-E-S-P>

- ERAT S.A. E.S.P. Empresa Regional Aguas del Tequendama. (2017). *Informe metodológico GPS*. La Mesa, Cundinamarca.
- Fandiño, H. S. (2017). *Diseño Preliminar de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio de La Esperanza Departamento Norte de Santander en Colombia*. Recuperado el 02 de mayo de 2018, de <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9238/Fandi%C3%B1oHans2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fernandez, N. y. (2015). *Optimización de las condiciones de operación de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas tipo red fox*. Recuperado el 02 de mayo de 2018, de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/18591/41082191_2015.pdf?sequence=1
- Galeano, Y. A. (23 de marzo de 2018). Estado PTAR, La Mesa - Cundinamarca. (S. N. Camacho, Entrevistador)
- Gonzales, E. P. (2001). *Canal Parshall*. Mexico: Instituto mexicano de tecnologia del agua.
- *issuu*. (28 de julio de 2013). Recuperado el 25 de abril de 2018, de https://issuu.com/aguasdeltequendama/docs/polit__ca_sb_pdf
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. (23 de diciembre de 2010). *Decreto 4728 de 2010*. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_4728_2010.pdf
- MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, D. D. (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000. Sección I. Título A. Aspectos Generales de los Sistemas de Agua Potable y Saneamiento Básico*. Recuperado el 05 de mayo de 2018, de

http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_a_.pdf

- MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, D. D. (s.f.). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000. Sección II. Título E. Tratamiento de Aguas Residuales*. Obtenido de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf
- MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO, D. D. (s.f.). *Reglamento tecnico del sector del agua potable y sanimiento basico RAS - 2000. Titulo B*. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB%20030714.pdf>
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2017). *Resolución Número 0330 de 2017*. Recuperado el 05 de mayo de 2018, de <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>
- Moreno, J. (22 de marzo de 2017). Siete de cada diez municipios no tratan sus aguas residuales. *El Tiempo*. Recuperado el 02 de mayo de 2018, de <http://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/tratamiento-de-aguas-residuales-en-colombia-69962>
- *Periodismo publico.com*. (18 de Octubre de 2013). Recuperado el 24 de abril de 2018, de <http://www.periodismopublico.com/Cuarto-aniversario-de-Aguas-del-Tequendama-S-A-E-S-P>
- (2001). *Plan Basico de Ordenamiento Territorial*. La Mesa.
- Puerta, R. R. (2011). *ArcGis Básico 10*. (U. N. Selva, Ed.) Recuperado el 05 de mayo de 2018, de <https://actswithscience.com/Descargas/ManualArcGis.pdf>

- Romero Rojas, J. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Bogotá: Alfaomega.

Recuperado el 25 de abril de 2018

ANEXOS

Anexo 1.

Parámetro mínimos que deben medirse.

Parámetro	Bajo	Medio	Medio Alto	Alto
Oxígeno disuelto	x	x	x	x
DBO ₅				
Soluble	x	x	x	x
Total	x	x	x	x
SS				
SST	x	x	x	x
SSV	x	x	x	x
DQO				
Soluble	x	x	x	x
Total	x	x	x	x
Nitrógeno				
Total	x	x		
Orgánico				x
Soluble				x
Particulado				
Amoniacal				x

DIAGNÓSTICO PTAR LA CARBONERA, LA MESA CUNDINAMARCA

Parámetro	Bajo	Medio	Medio Alto	Alto
Soluble				x
Particulada				x
Nitritos				x
Nitratos				x
Fósforo Total				
Soluble	x	x	x	x
Particulado	x	x	x	x
Cloruros			x	x
Alcalinidad				x
Aceites y grasas			x	x
Coliformes				
Fecales			x	x
Totales			x	x
pH	x	x	x	x
Acidez	x	x	x	x
Detergentes			x	x

Nota. Parámetros mínimos que deben medirse dependiendo del requerimiento. Adaptado de Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS”. Título E – Tratamiento de aguas residuales.

Anexo2.

Rangos de eficiencia en los procesos de tratamiento

Eficiencia mínima de remoción de parámetros, porcentajes (%)								
	Unidades de tratamiento	DBO5	DQO	SST	SSED	Grasas y aceites	Patógenos	Observaciones
Pretratamiento	Cribado o desbaste	0-15	0-10	10-50	0-6	0-40	N/A	Remociones con militamices y microcribas
	Desarenador	0-5	0-5	0-10	N/A	N/A	N/A	
	Trampa de grasas	0-5	0-3	10-15	N/A	85-95	N/A	
Tratamiento primario	sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	75-85	60-70	30-50	
	Lagunas anaeróbicas	50-70	30-50	50-60	5-85	80-90	80-90	
	Tanque Imhoff	25-40	15-30	50-70	75-85	60-70	30-50	
Tratamiento Secundario	Reactor UASB (RAFA)	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
	Lagunas facultativas	80-90	40-50	63-75	75-85	70-90	80-90	Sin contar con algas

DIAGNÓSTICO PTAR LA CARBONERA, LA MESA CUNDINAMARCA

Eficiencia mínima de remoción de parámetros, porcentajes (%)							
Unidades de tratamiento	DBO5	DQO	SST	SSED	Grasas y aceites	Patógenos	Observaciones
Lagunas aireadas	80-95	60-70	N/A	N/A	N/A	80-90	Con sedimentación secundaria
Reactor anaeróbico RAP	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
Filtros anaeróbicos	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
Lodos activados (Convencionales)	80-95	70-80	80-90	N/A	N/A	80-90	
Filtros percoladores de alta tasa, roca de alta tasa, plástico	75-95	60-80	65-85	N/A	N/A	80-90	
Rayos UV	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	100	
Desinfección Cloración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	100	
Laguna de maduración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	99,99	

Nota. Eficiencia mínima de remoción de parámetros en porcentaje que debe cumplir cada sistema de tratamiento de agua residual. Adaptado “Resolución 0330 de 2017” Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.

ANEXO 3.

Parámetros de diseño para el tratamiento por lodos activados

Tipo de proceso	Tiempo medio de retención celular, θ_c , días	Relación, alimento microorganismos, F/M	Carga volumétrica		Tiempo de retención hidráulico en el tanque de aireación horas	Sólidos suspendidos en el líquido mezclado SSLM, mg/L	relación de recirculación $\alpha = Q_R/Q_0$	Eficiencia de remoción DBO_5
			lb DBO_5 /día · 1000 ft ³	kg DBO_5 /día · m ³				
Convencional	5-15	0,2-0,4	20-40	0,3 -0,6	4 – 8	1500 - 3000	0,25 -1,0	85 – 95
Aireación decreciente	5-15	0,2-0,4	20-40	0,3 -0,6	4 - 8	1500 - 3000	0,25 -1,0	85 -95
Completamente mezclado	5-30	0,1-0,6	50-120	0,8 -2,0	3 -6	2500 - 4000	0,25 -1,5	85 -95
Aireación escalonada	5-15	0,2-0,4	40-60	0,6 -1,0	3 – 5	2000 - 3500	0,25 -0,75	60 -75
Aireación modificada	0,2-0,5	1,5 – 5,0	75-150	1,2 - 2,4	1,5 – 3	200 -500	0,05 - 0,15	
Estabilización por contacto	5-15	0,2 – 0,6	60 - 75	1,0 -1,2			0,5 - 1,5	
Tanque de contacto				0,5 -1,0	0,5 – 1,0	1000 - 3000		80 -90
Tanque de estabilización				3 -6	4000 - 10000			
Alta tasa	5 -10							75 -90

DIAGNÓSTICO PTAR LA CARBONERA, LA MESA CUNDINAMARCA

Tipo de proceso	Tiempo medio de retención celular, θ_c , días	Relación, alimento microorganismos, F/M	Carga volumétrica		Tiempo de retención hidráulico en el tanque de aireación horas	Sólidos suspendidos en el líquido mezclado SSLM, mg/L	relación de recirculación $\alpha = Q_R/Q_0$	Eficiencia de remoción DBO_5
			lb DBO_5 /día · 1000 ft ³	kg DBO_5 /día · m ³				
Aireación extendida	20 -30	0,05 – 0,15	10 -25	0,16 -0,4	18 -36	3000 -6000	0,75 – 1,50	75 -95
Oxígeno puro	8 - 20	0,25 -1,0	100 -200	1,6 – 3,2	1 -3	3000 - 8000	0,25 – 0,5	85 -95

Nota: Parámetros de diseño y operacionales de lodos activados de aguas residuales domésticas. Adaptado de Unit Operations and Processes in Environmental Engineering.

ANEXO 4. PLANO TOPOGRÁFICO

ANEXO 5. PLANO LOCALIZACIÓN

ANEXO 6. PLANO PERFIL HIDRÁULICO

ANEXO 7. PLANOS PRETRATAMIENTO

ANEXO 8. PLANOS PRETRATAMIENTO

ANEXO 9. PLANOS TANQUE DE AIREACIÓN

ANEXO 10. PLANOS TANQUE CLARIFICADOR

ANEXO 11. PROYECCIÓN POBLACIONAL

DIAGNÓSTICO PTAR LA CARBONERA, LA MESA CUNDINAMARCA

MÉTODO ARITMÉTICO		MÉTODO GEOMÉTRICO			MÉTODO EXPONENCIAL						
AÑO	CABECERA	AÑO	r	CABECERA	AÑO	CABECERA	FLOTANTE	TOTAL	POBLACION SERVIDA 60%	CABECERA	
										AÑOS	K
2019	19950	2019	0,037	23294	2019	23217	5565	28782	17269		
2020	20374	2020	0,037	24156	2020	24070	5766	29836	17902	1995 - 1997	0,04
2021	20799	2021	0,037	25049	2021	24955	5975	30930	18558	1997 - 2000	0,04
2022	21223	2022	0,037	25976	2022	25872	6190	32062	19237	2000 - 2005	0,03
2023	21648	2023	0,037	26937	2023	26824	6414	33238	19943	PROM	0,036
2024	22072	2024	0,037	27934	2024	27810	6645	34455	20673		
2025	22497	2025	0,037	28968	2025	28832	6885	35717	21430		
2026	22921	2026	0,037	30039	2026	29892	7134	37026	22215		
2027	23346	2027	0,037	31151	2027	30991	7391	38382	23029		
2028	23770	2028	0,037	32304	2028	32130	7658	39788	23873		
2029	24195	2029	0,037	33499	2029	33311	7934	41245	24747		
2030	24619	2030	0,037	34738	2030	34535	8221	42756	25654		
2031	25044	2031	0,037	36024	2031	35805	8518	44323	26594		
2032	25468	2032	0,037	37356	2032	37121	8825	45946	27568		
2033	25893	2033	0,037	38739	2033	38486	9144	47630	28578		
2034	26317	2034	0,037	40172	2034	39900	9474	49374	29624		
2035	26742	2035	0,037	41658	2035	41367	9816	51183	30710		
2036	27166	2036	0,037	43200	2036	42888	10170	53058	31835		
2037	27591	2037	0,037	44798	2037	44464	10537	55001	33001		
2038	28015	2038	0,037	46456	2038	46099	10918	57017	34210		
2039	28440	2039	0,037	48175	2039	47793	11312	59105	35463		
2040	28864	2040	0,037	49957	2040	49550	11720	61270	36762		
2041	29289	2041	0,037	51806	2041	51372	12143	63515	38109		
2042	29713	2042	0,037	53722	2042	53260	12582	65842	39505		
2043	30138	2043	0,037	55710	2043	55218	13036	68254	40952		
2044	30562	2044	0,037	57771	2044	57248	13507	70755	42453		