MANUAL DE OPERACIÓN PTAR – 2019

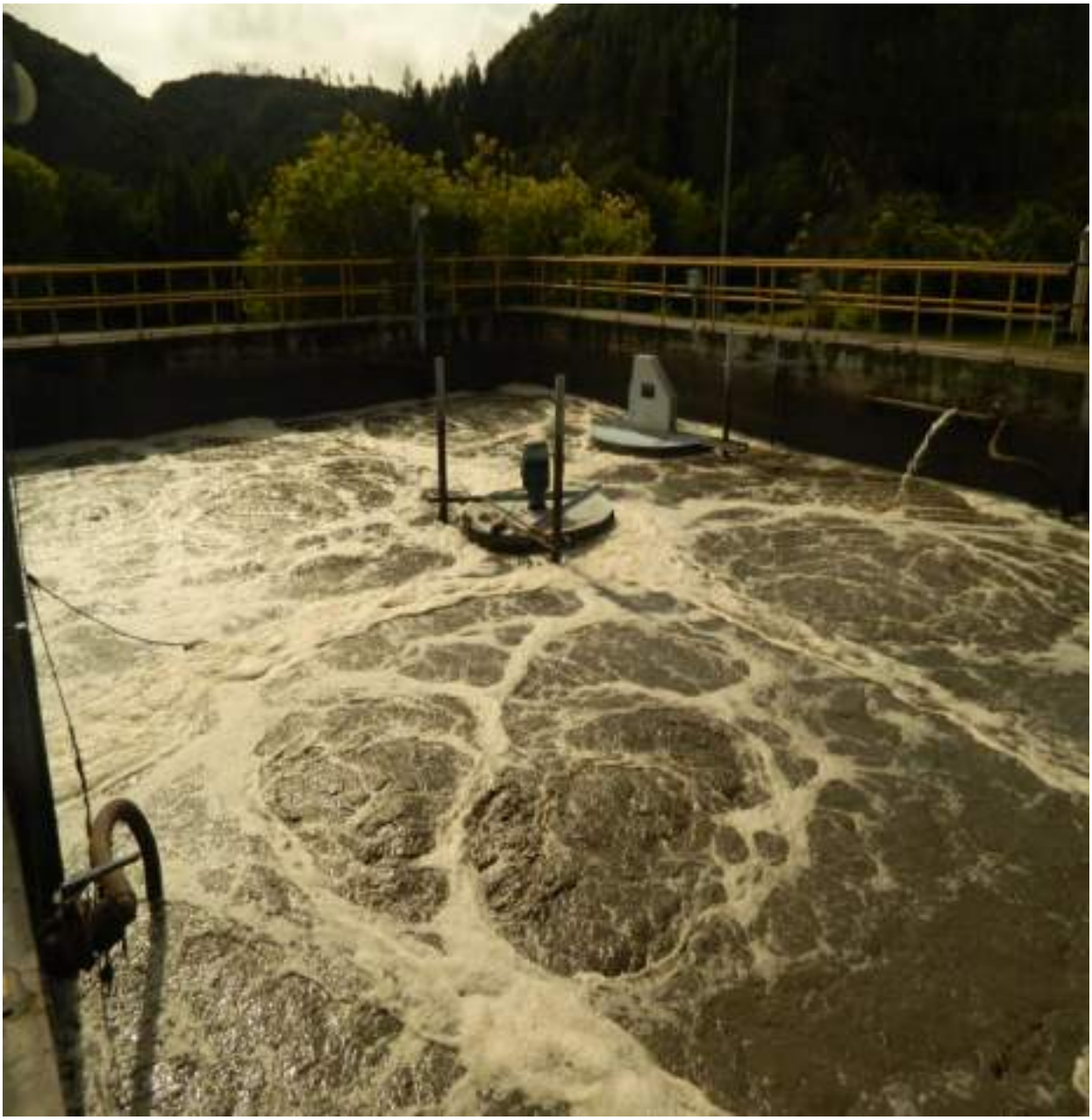


TABLA DE CONTENIDO

Introducción **7**

1 OBJETIVO GENERAL **8**

2 ALCANCE **8**

3 Arranque y Puesta en Marcha **8**

3.1 Consideraciones Preliminares del Proceso de Arranque 8

3.2 Establecimiento de la comunidad Bacterial en el Arranque 10

3.3 Control de olores y sólidos en el arranque operacional 10

4 GENERALIDADES. **11**

4.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA. 11

4.2 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA. 11

4.3 COMPONENTES DEL SISTEMA. 14

4.3.1 Pretratamiento ó Tratamiento Preliminar: 15

4.3.2 Tratamiento secundario: 16

4.3.3 Manejo y Disposición final de Residuos y Lodos (biosólidos): 17

4.3.4 Infraestructura, Equipos e Insumos Requeridos 17

4.4 Parámetros de Control y Operación 20

4.4.1 Parámetros de control: 20

4.4.2 Parámetros de operación: 21

5 OPERACIÓN 33

5.1 OPERACIÓN DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR. 38

5.1.1 Cribado: 38

5.1.2 Desarenadores: 40

5.1.3 Medición de Caudal: 42

5.1.4 Paredes internas y externas de las estructuras preliminares. 44

5.2 OPERACIÓN DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO. 44

5.2.1 Limpieza de carreteables y mantenimiento de zonas verdes. 54

5.3 LABORES COMPLEMENTARIAS POR PARTE DEL OPERADOR. 54

5.3.1 Manejo y Disposición de sólidos. 54

5.3.2 Muestreo del Afluente y Efluente: 57

5.3.3 Características perceptivas: 59

5.3.4 Verificación del componente hidráulico 60

5.4 Otras labores de operación, por parte del EQUIPO DE SOPORTE TECNICO. 60

5.4.1 Toma de parámetros in situ. 60

5.4.2 Toma de muestras: 62

5.5 Población microbiana habitual en LODOS ACTIVADOS. 66

5.6 Componente Eléctrico Inspección y Reparación. 68

6 FORMATOS ESTANDARIZADOS PARA EL SISTEMA. 69

7 GLOSARIO 69

8 ANEXOS 72

FORMATOS DE OPERACIÓN espucal E.S.P. (MAESTRO DOCUMENTOS) 72

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de diseño. 11

Tabla 2. Características promedio de operación. Año 2014. 12

Tabla 3. Características promedio de operación. Año 2015. ¡Error! Marcador no definido.

Tabla 4. Equipos electromecánicos de la PTAR La Calera. 18

Tabla 5. Actividades para el mantenimiento del sistema de cribado. 22

Tabla 6. Actividades para el mantenimiento del sistema de cribado. 23

Tabla 7. Actividades para el mantenimiento de la canaleta parshall. 26

Tabla 8. Paso a paso para el mantenimiento del desarenador. 29

Tabla 9. Actividades para el mantenimiento del reactor SBR. 30

Tabla 10. Actividades para el mantenimiento del digestor aerobio 31

Tabla 11. Rutina operacional PTAR LA CALERA 35

Tabla 12. Paso a paso para la operación de la unidad del cribado. 38

Tabla 13. Paso a paso para la operación de la unidad desarenadora..... 40

Tabla 14. Paso a paso para la operación de la canaleta Parshall. 42

Tabla 15. Operación del reactor SBR 44

Tabla 16. Operación del digestor aerobio. 49

Tabla 17. Manejo y disposición de residuos sólidos. 55

Tabla 18. Labores de los operadores del sistema para la toma de muestras de aguas residuales. 58

Tabla 19. Características perceptivas. 60

Tabla 20. Labores de los supervisores del sistema para toma de parámetros *in situ*…… 61

Tabla 21. Actividades para toma de muestras, por parte de los supervisores del sistema…….. 63

Tabla 22. Microorganismos presentes en aguas residuales en tratamiento. 67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema PTAR La Calera. 13

Figura 2. Componentes estructurales tratamiento preliminar. 15

Figura 3. Diagrama de procesos llevados a cabo en la PTAR La Calera..... 33

INTRODUCCIÓN

Toda obra de infraestructura de servicios públicos, necesita un continuo seguimiento y mantenimiento de la misma, lo que significa que la empresa encargada de operar la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) debe contar con un personal calificado y además con recursos e insumos suficientes para operar y mantener cada sistema en particular. El buen funcionamiento y la vida útil de la PTAR dependen generalmente de una buena operación y un mantenimiento adecuado.

El propósito del Manual de Operación y Mantenimiento, es dar al operador de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), la información básica necesaria para que los sistemas de tratamiento funcionen y se mantengan en condiciones apropiadas de operación y mantenimiento, garantizando alta calidad en el efluente y que ésta a su vez se verá reflejada en la fuente receptora, la cual finalmente impactará en el Río Bogotá como principal corriente hídrica de la Sabana de Bogotá.

En la operación y mantenimiento se distinguen las siguientes categorías: Operación de control mantenimiento rutinario preventivo y correctivo monitoreo seguimiento y registro de formatos de laboratorio además de soluciones a posibles dificultades, conocidas como novedades y actividades de emergencia.

El operador de la PTAR debe estar consciente de la importancia de su labor, una PTAR mal operada o mantenida produce efluentes de baja calidad y puede convertirse en un problema de malestar público y ambiental.

En las páginas siguientes se presenta una guía detallada de cada uno de los pasos necesarios para iniciar o poner en marcha un sistema de tratamiento de agua residual operar, mantener y solucionar las dificultades más frecuentes que eventualmente puedan suceder al interior de la planta de agua residual.

Cabe anotar que las recomendaciones aquí suministradas deben ser estudiadas y analizadas por el personal encargado del manejo del sistema, hasta adquirirla destreza en el manejo de los diferentes procesos.

1 OBJETIVO GENERAL

Presentar al operador de la planta, una guía básica para la operación de las unidades que componen la PTAR, para garantizar un adecuado funcionamiento del sistema.

2 ALCANCE

El presente documento está diseñado para ser asequible para los operadores del sistema, teniendo en cuenta que los mismos son la base fundamental de la operación y el mantenimiento de la PTAR, y que en compañía de los supervisores técnicos, deben adoptarse y generarse pautas para el óptimo funcionamiento del sistema.

El manual de operación es la base para la ejecución de las labores operativas en las unidades del sistema; siendo éste la guía de las actividades a ejecutar durante los turnos operativos. El detalle de las actividades de operación y mantenimiento para los componentes estructurales de las fases del sistema, se especifica en los instructivos, los cuales fueron diseñados para cada una de las unidades.

3 ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA

3.1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES DEL PROCESO DE ARRANQUE

El arranque del sistema de tratamiento etapa más importante el componente. El inicio de operación del sistema integra no solo lo relacionado con la remoción de materia orgánica, sino también la estabilización. La población bacterial es altamente sensible a cambios generados en el medio ambiente que los rodea, además de que inicialmente no está adaptada al nuevo sustrato. La adaptación es una etapa lenta que se debe realizar gradualmente. En el medio acuoso está ocurriendo una selección y adaptación de microorganismos necesarios para el metabolismo del sustrato (aguas residuales) en sus diferentes fases.

Una vez terminada la construcción de la planta, se debe proceder al inicio de trabajo de la misma, para esto se deben tener las siguientes consideraciones:

- Es necesario que el personal de operación y mantenimiento de la planta conozca las funciones de cada componente del sistema, de cada pieza de los equipos y tuberías que componen la planta.
- La dirección del flujo debe ser indicado claramente en las tuberías
- Los equipos electromecánicos deben ser lubricados y probados.
- El reactor SBR, el desarenador, las tuberías, el tanque digestor, los lechos de secado y demás estructuras que intervengan en el proceso deben estar limpios de escombros de construcción u otro material extraño.
- Las luces, regletas, indicadores y demás sistemas de control deben estar probados y en funcionamiento.
- Las instrucciones de los fabricantes de los equipos y los manuales de mantenimiento de los mismos deben haber sido leídos y entendidos por el operador y almacenados en una ubicación de fácil acceso y referencia por parte del personal.
- El diario de notas operativas de la planta se debe tener ubicado y a la mano con el fin de registrar los datos operativos desde el mismo inicio de la planta.
- El equilibrio del volumen 0.08 MG (miligalones) del reactor puede obtenerse introduciendo agua fresca o agua residual sin tratar al reactor. Si se usa agua fresca, el reactor debe airearse y mezclarse
- El agua debe introducirse a una velocidad que sea igual o menor que la velocidad de flujo de diseño del sistema, monitorear y mantener por arriba de 1.0mg/L la concentración de oxigeno; ajustar o interrumpir el flujo hacia el reactor del agua residual.
- Una vez que el reactor alcance el nivel de bajo nivel de agua del diseño, deberá continuarse con la aireación y mezclado hasta que la concentración de oxigeno en el reactor sea aproximadamente 4.0 a 6.0mg/L.
- El mezclado en el reactor ya inoculado debe continuar mientras que el procedimiento de inoculación se repite en el siguiente reactor.
- Si el sistema especifico ofrece un sistema secuencial de aireación, no sería posible airear en forma simultánea los reactores, en este caso el sistema de aireación deberá utilizarse para airear el reactor que se está llenando con el agua residual sin tratar para alcanzar el volumen de nivel bajo de agua especificado. La interrupción del procedimiento de inoculación en el segundo reactor puede realizarse para proporcionar una aireación intermitente del primer reactor o reactor inoculado.
- El lodo de inoculo debe estar sano (es decir, aerobio, sin bacterias filamentosas) y deberá transferirse rápidamente al SBR para evitar septicidad. El lodo de inoculo debe examinarse microscópicamente antes de inocular la planta para verificar que contiene una biomasa sana, diversa y sin bacterias filamentosas.

- Una vez que la planta esté en operación, pudiera ser necesario ajustar el MLSS ó F/M para mejorar el rendimiento del proceso o las características de sedimentación.

3.2 ESTABLECIMIENTO DE LA COMUNIDAD BACTERIAL EN EL ARRANQUE

Al principio el sistema no alcanzará los niveles de eficiencia exigidos, esto es debido a que se debe establecer una colonia de microorganismos aerobios estable y en suficiente cantidad.

- Este proceso se puede dejando que se desarrolle las especies de bacterias in situ de forma natural en el reactor, proceso que puede tardar de tres a cuatro meses aproximadamente.
- Otra forma es realizando una incubación de una cepa de bacterias aerobias traídas de otra planta de tratamiento. De esta forma el proceso de estabilización puede tardar entre uno y dos meses.

3.3 CONTROL DE OLORES Y SÓLIDOS EN EL ARRANQUE OPERACIONAL

Teniendo en cuenta que los sistemas de tratamiento aerobios no generan compuestos químicos con altas concentraciones de olores que puedan afectar el entorno, siendo el Dióxido de carbono (CO_2) el compuesto químico de mayor producción, el proceso de operación de los equipos de aireación se puede hacer de forma continua la 24 horas del día en la etapa del arranque operacional.

El control de sólidos en el reactor SBR se puede realizar con una de las tres alternativas siguientes:

- Manteniendo una concentración constante de SSVLM. Este sistema es simple de aplicar si el efluente es estable.

- Manteniendo una relación estable de A/M. Es más complejo pues requerirá aumentar o disminuir la concentración de SSVLM de acuerdo a las variaciones estacionales de DBO_5.
- Manteniendo constante la edad de lodos:

Edad de lodos = sólidos totales en el reactor / Sólidos totales de exceso y del efluente por día.

4 GENERALIDADES.

4.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA.

La planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de La Calera se encuentra ubicada al costado Nor-Occidental, a las afueras del casco urbano municipal en el Km 18 Vía La Calera - Guasca; bajo las coordenadas geográficas Long -73°57´3,2'' W y lat. 4°43´28,2" N.

4.2 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA.

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de La Calera, se diseño y construyó para tratar las aguas residuales domésticas provenientes del casco urbano del municipio.

En la tabla 1, se estipulan las características de diseño.

Tabla 1. Características de diseño.

Puesta en marcha (año)	2002
Horizonte de diseño (año)	2022
Población (Habitantes)	21.338
Caudal (l/s)	32
Carga Orgánica (Kg de DBO_5 por día)	572

Concentración de DBO_5 (mg/l)	207

Fuente: contrato 276 de 2004estudios y diseños de obras de rehabilitación y prediseños de ampliación de 19 PTAR - octubre de 2005

Para el presente año la PTAR de La Calera, recibe las aguas residuales generadas por una población (casco urbano y rural) de 13.976 habitantes.

En la tabla Nº2 se establecen las características de operación promedio para el año 2018

Tabla 2. Características promedio de operación. Año 2018.

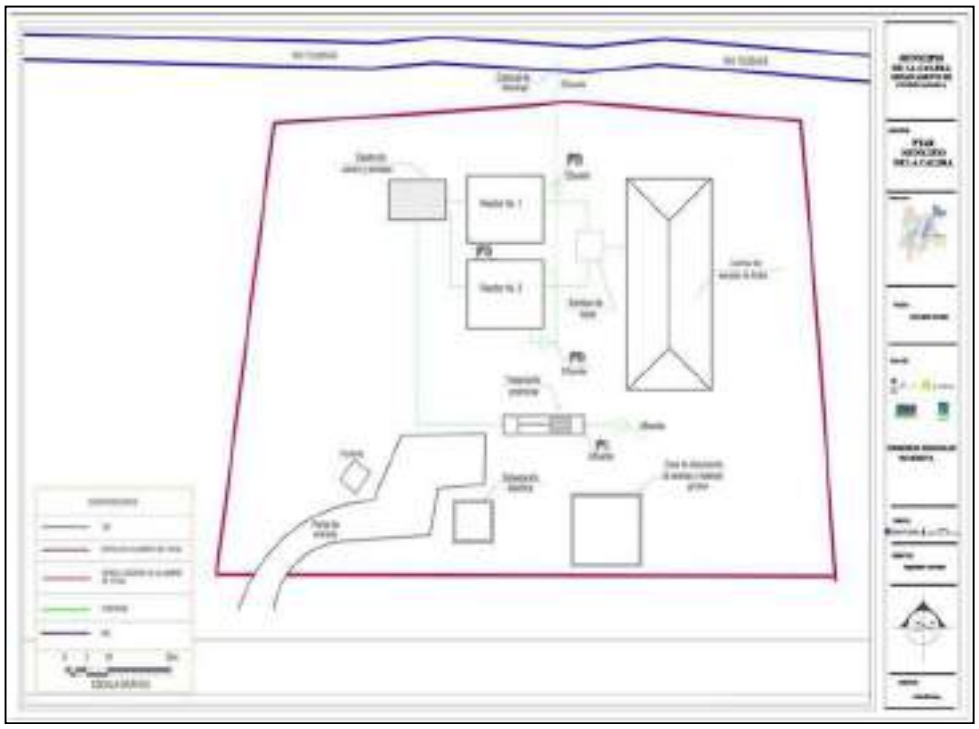
Caudal promedio de operación [l/s]	40,36
Carga orgánica removida [Ton DBO_5/mes]	30.64
Carga orgánica removida[Ton SST/mes]	15.02

Fuente: Consolidado total carga orgánica removida, ESPUCAL. E.S.P.

El tratamiento de aguas residuales del municipio de la calera es un proceso de **lodos activados**, por medio de un reactor biológico secuencial, Los reactores biológicos secuenciales (SBR) son reactores discontinuos en los que el agua residual se mezcla con un lodo biológico en un medio aireado. El proceso combina en un mismo tanque reacción, aeración y clarificación. El empleo de un único tanque reduce sustancialmente la inversión necesaria. Otras ventajas de los SBR son la facilidad para el control de la operación, la buena flexibilidad ante fluctuaciones de caudal y concentración de las aguas residuales, y los buenos resultados obtenidos en el tratamiento de compuestos refractarios a los sistemas biológicos convencionales.

En la figura No.1, a continuación presentada, se expone gráficamente la disposición de los cuerpos de agua en el área de la PTAR.

Figura 1. Esquema PTAR La Calera.



Fuente: ESPUCAL ESP. PTAR La Calera

Un sistema SBR (secuencial batch reactor), es un estanque en el cual se suceden en forma secuencial en el tiempo diferentes procesos de ecualización, aireación y clarificación, permite el tratamiento de un gran espectro de compuestos orgánicos remoción de nutrientes (nitrógeno/fósforo), simplemente incorporando un mezclado anaeróbico/anóxico en la etapa de llenado de reactor y cambiando encendido/apagado del soplador durante la etapa de reacción.

El proceso de lodos activados puede ser definido como el contacto de un floc biológico preformado (lodo activado) con el agua residual que entra en el reactor alimentado con suficiente oxígeno disuelto para mantener condiciones aeróbicas durante el proceso, seguido por la separación de líquidos y sólidos en el tanque digestor. Para asegurar un adecuado suministro de lodo activado con las características deseadas de absorción y asentamiento necesarias para purificar la entrada adicional de agua residual a través de un proceso de flujo continuo, una cierta cantidad de lodo sedimentando es separada y enviada al tanque digestor. Esta porción de lodo es el denominado lodo activado.

Debido a que la cantidad de lodo activado dentro del sistema se incrementa constantemente, así como la cantidad de material orgánico removido del agua residual y como los microorganismos continuamente crecen, es necesario remover las cantidades de exceso del sistema. El lodo removido se denomina lodo activado residual. Este lodo activado residual una vez removido del sistema se dispone en unos lechos de secado con el fin de disminuir su volumen y posteriormente son removidos hacia su sitio de disposición final.

La operación y mantenimiento de un SBR de lodos activados requiere los servicios de un capataz familiarizado con este sistema. Las labores de operación y mantenimiento involucran la puesta en marcha del reactor SBR, inspección y reparación de blower, mantenimiento de los muros de los tanques.

La correcta operación y mantenimiento es muy importante porque un SBR operado deficientemente producirá malos olores, será un sitio propicio para el desarrollo de vectores de enfermedades patógenas, y los costos de reparación serán generosos.

4.3 COMPONENTES DEL SISTEMA.

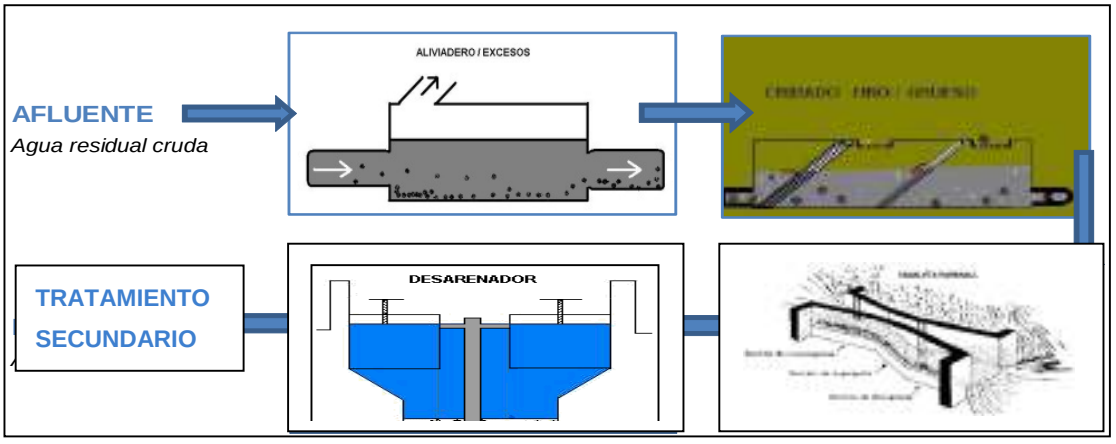
Como se mencionó anteriormente, la PTAR del municipio de La Calera, es un sistema compuesto por las siguientes fases: tratamiento preliminar, tratamiento secundario, manejo y disposición de residuos sólidos *in situ*.

Para mayor comprensión, a continuación se desglosan cada una de las estructuras correspondientes a las fases del tratamiento.

4.3.1 Pretratamiento ó Tratamiento Preliminar:

El objetivo principal del tratamiento preliminar en un sistema para depuración de aguas residuales o PTAR, es evitar el ingreso de residuos sólidos al tratamiento secundario, y reducir la cantidad de sólidos en suspensión en el tratamiento secundario.

Figura 2. Componentes estructurales tratamiento preliminar.



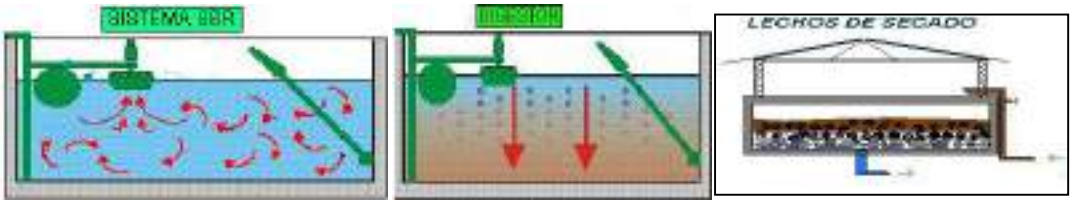
En la figura 2, se describen las características principales de los componentes estructurales pertenecientes al tratamiento preliminar, que posee la PTAR La Calera.

Sistema de llegada y cribado: Se encuentra ubicada inmediatamente después del colector final. Se compone por dos rejillas metálicas de 1.20m de ancho con platinas de 2mm espaciadas 4cm entre ellas y una bandeja de escurrimiento en concreto perforada de 50cm, tienen una inclinación de 45º la primera, la segunda tiene las mismas dimensiones que la anterior, pero el espaciamiento entre cada platina es de 1.5cm. El sistema de cribado se encuentra antes de la cámara de alivio para ofrecer un grado de remoción mínimo del 20% al caudal de exceso que se puede presentar en época de invierno y/o por aguas de infiltración.

Cámara de alivio y estructura de aforo: Se encuentra en la parte lateral después de las rejillas de cribado, es una estructura de concreto reforzado de 4.18m X 1.25m X 1.00m, y sirve para enviar el caudal de excesos hacia el efluente. La canaleta Parshall de 9" es una estructura de medición ubicada después de la cámara de alivio.

Desarenadores: Comprende dos canales desarenadores por gravedad de sección variable con una longitud de 11.5m cada uno, un lecho de secado de arenas y un lecho para la evaporación de los líquidos drenados, en el lecho de secado de arenas.

4.3.2 Tratamiento secundario:



1 2 3

Reactores SBR: Son estructuras en concreto reforzado de 18.6m X 13.4m X 7.00m de profundidad, contienen un mezclador, difusores de aire, controles automáticos de nivel y electroválvulas que regulan la salida del clarificado. Las principales características sanitarias de los dos reactores son:

Caudal de diseño: 2764m^3/día, DBO_5 de diseño: 207mg/l, Carga orgánica de diseño: 572Kg (DBO_5/día), SST de diseño: 150 mg/l, Volumen promedio de diseño: 1367$m^{3,}$ Tiempo de retención medio de diseño: 11.9h.

Tanque Digestor de Lodos: Este tanque es una estructura estanca en concreto reforzado de 13.4m x 9.1m x 3.4m de profundidad, contienen un mezclador, controles automáticos de nivel y electroválvulas que regulan el ingreso de lodos frescos y la salida de lodos digeridos.

Tratamiento Biológico de Reactores SBR: Existen dos reactores, cada uno de los cuales tienen las siguientes dimensiones: una profundidad mínima 4.22m, una profundidad promedio de 5.49m y una profundidad máxima de 6.71m, tienen un área de 249.2m^2, tienen un volumen mínimo de 1053m^3 y un volumen promedio de 1368.5m^3, tiempo de retención promedio de 20.80hr y tiempo de retención a caudal máximo de 13hr.

Digestor de Lodos Aerobio: El tiempo de retención hidráulico de diseño es de 26.3d el tanque tiene de largo 13.4m y de ancho 9.1m, tiene un área superficial de 121.94m^2, una profundidad mínima de 2.3m y una profundidad máxima de 3.4m, tiene un volumen mínimo de 278.8m^3 y un volumen máximo de 411.2m^3.
Lechos de Secado: Existen 16 unidades de secado individual con área de 37.5m^2 cada uno para un área total de 600m^2. Los lechos están cubiertos con teja plástica ondulada. Los lechos de secado se componen de una capa de arena se tienen colocados ladrillos sueltos, realizándose el flujo de aguas a través de sus juntas.

Descarga al cuerpo Receptor: Es un tipo cabezal de descarga en concreto reforzado que vierte el efluente en el río Teusacá.

4.3.3 Manejo y Disposición final de Residuos y Lodos (biosólidos):

Lechos de secado: Existe una batería compuesta por dieciséis (16) unidades de secado individual. Los lechos están cubiertos con teja metálica galvanizada tipo canaleta. Los lechos de secado se componen de una capa de ladrillos macizos sobre una capa de arena y una capa de grava que sirve de soporte al lecho de arena.

El proceso que se lleva a cabo en los lechos de secado, básicamente consiste en deshidratación de los lodos (90% agua aproximadamente). Durante el tiempo de permanencia de los lodos en los lechos, se les hace tratamiento i*n situ* por medio de la adición de Cal Dolomita o Viva, con el fin de elevar el pH, evitando así postura de huevos de insectos y los posibles malos olores que se generen.

4.3.4 Infraestructura, Equipos e Insumos Requeridos

La PTAR cuenta con una caseta de operaciones y un laboratorio, espacio para la vigilancia y bodega, entre otros. En este lugar se encuentra el baño.

Debe contener los equipos necesarios para una correcta operación y control de la PTAR, como son: pH-metro, oxímetro, conductímetro, termómetro y una serie de vidriería, probetas, pipetas, beaker; y otra serie de herramientas necesarias para la adecuada operación y mantenimiento: linterna, rastrillos, coche, recogedor, pala, manguera, nasas, botiquín de primeros auxilios, pértiga para medir altura de lodos, baldes o canecas, y otros

de protección personal como caretas, guantes, botas, gafas de lente claro con protección lateral, overol impermeable, entre otros

Los insumos químicos manejados por el operador de la PTAR, son CAL DOLOMITA ($CaCO_3$ – $MgCO_3$) para evitar proliferación de vectores (larvas, mosquitos, algas, mal olor) y acelerar la deshidratación de los lodos en el trincho, y ácido sulfúrico (H_2SO_4), utilizado para preservar las muestras puntuales de DQO. Adicionalmente, dentro de las labores de poda y pradeo, el operador emplea combustible de origen fósil (gasolina) y aceite 2 tiempos, para la guadaña.

Se maneja herramienta menor y/o de mano, para la efectiva ejecución de las labores de operación y mantenimiento.

A continuación se describen los equipos electromécanicos que se emplean para proporcionar aireación al agua en tratamiento, bombas de impulsión y transferencia, así como el sedimentador secundarios empleado para la separación del agua clarificada de los lodos.

Tabla 3. Equipos electromecánicos de la PTAR La Calera.

EQUIPO:COMPRESOR 3	
MARCA	KAESER
CLASE	SIGMA II
POTENCIA [hp]	40
FLUJO [cfm]	639
FRECUENCIA [Hz]	60
RPM	4.245
COSTO DEL EQUIPO	N/A

EQUIPO:COMPRESOR 2	
MARCA	KAESER
CLASE	SIGMA II
POTENCIA [hp]	40
FLUJO [cfm]	639
FRECUENCIA [Hz]	60
RPM	4.245
COSTO DEL EQUIPO	N/A

EQUIPO:COMPRESOR 3	
MARCA	KAESER
CLASE	SIGMA II
POTENCIA [hp]	40
FLUJO [cfm]	639
FRECUENCIA [Hz]	60
RPM	4.245
COSTO DEL EQUIPO	N/A

EQUIPO:BOMBA LODOS 1			
PARTE 1:MOTOR		PARTE 2:BOMBA	
MARCA	N/A	MARCA	N/A
NUMERO	N/A	NUMERO	N/A
CLASE	N/A	TIPO	SUMERGIBLE
POTENCIA	230 VOLTIOS	MODELO	N/A
FASES	3	REF CORREAS	N/A
FRECUENCIA	60HZ	TIPO DE ACEITE	DIELECTRICO
RPM	N/A	TIPO DE GRASA	N/A
COSTO DEL EQUIPO	N/A	CAUDAL	N/A

EQUIPO:BOMBA LODOS 2			
PARTE 1:MOTOR		PARTE 2:BOMBA	
MARCA	N/A	MARCA	N/A
NUMERO	N/A	NUMERO	N/A
CLASE	N/A	TIPO	SUMERGIBLE
POTENCIA	230 VOLTIOS	MODELO	N/A
FASES	3	REF CORREAS	N/A
FRECUENCIA	60HZ	TIPO DE ACEITE	DIELECTRICO
RPM	N/A	TIPO DE GRASA	N/A
COSTO DEL EQUIPO	N/A	CAUDAL	N/A

EQUIPO:WINCHER PARA FLAUTAS DE AIREACION			
PARTE 1:MOTOR		**PARTE 2:CARACTERISTICAS**	
MARCA	THERM	**MARCA**	N/A
NUMERO	N/A	**NUMERO**	400011269
CLASE	N/A	**TIPO**	
POTENCIA	1.2 HP	**MODELO**	4771
FASES	1	**REF CORREAS**	N/A
FRECUENCIA	60HZ	**TIPO DE ACEITE**	N/A
RPM	1725	**TIPO DE GRASA**	N/A
COSTO DEL EQUIPO	N/A	**CAUDAL**	N/A

4.4 PARÁMETROS DE CONTROL Y OPERACIÓN

Estas actividades están orientadas a medir el caudal, concentración y características del afluente y del efluente, controles que se realizan mediante monitoreos diarios, semanales, mensuales, como se describe más adelante.

Los parámetros comúnmente medidos para análisis de calidad del agua según el Decreto 1594 de 1984 son de tipo físico, químico y bacteriológico. Los principales analitos que deben vigilarse en una planta de tratamiento de aguas residuales determinados por la normatividad son los llamados parámetros de control.

4.4.1 Parámetros de control:

Temperatura, pH, Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), y Sólidos Suspendidos Totales (SST), Nitratos, fósforo total, sulfuros y sulfatos.

- La temperatura, el pH y OD son quizás los parámetros más importantes para garantizar que dentro de los cuerpos de agua sobrevivan y se reproduzcan los microorganismos inmersos en el agua y quienes depuran el material contaminante del agua residual. Igualmente estos tres parámetros son interdependientes por cuanto se relacionan entre sí y dependen de los tipos de microorganismos presentes en el líquido.

  Usualmente la temperatura, el pH y el OD, acompañados de la conductividad, son parámetros que deben monitorearse como mínimo una vez a la semana (siendo ideal

el control diario), para garantizar que las condiciones del agua ingresante al sistema sean las idóneas para los microorganismos operantes en el tratamiento.

- DBO_5 y DQO son las medidas que relacionan las concentraciones de materia orgánica presente en la muestra de agua. La DBO_5 (5 porque se procede a hacer la incubación de microorganismos presentes en el agua o inoculados durante 5 días, además de ser más usual que la DBO_7 por fines prácticos y operativos). Representa la cantidad o concentración de O_2 consumido por los microorganismos; es decir, la cantidad de materia orgánica que pueden asimilar dichos microorganismos hasta que se haya consumido el oxígeno disponible en el agua. Mientras que la DQO, hace referencia a la cantidad de materia orgánica asimilable por agentes químicos adicionados al agua de muestra, dependiente también, de la cantidad de oxígeno disuelto de la misma.

- Sólidos Suspendidos Totales (SST) y conductividad, así como Nitratos, fósforo total, sulfuros y sulfatos, hacen parte de las mediciones que se relacionan con los Sólidos contenidos en el agua, bien sea en dilución o suspendidos. Igualmente el nitrógeno como nitratos y fósforo aunque son elementos indispensables para el desarrollo de todo ser vivo, al ser iones incrementan la conductividad en agua y en grandes concentraciones ocasionan eutrofización de cuerpos de agua.

Como se mencionó anteriormente parámetros como temperatura, pH, OD y conductividad deben ser medidos semanalmente, mientras que, DBO, DQO, SST, sulfuros, sulfatos, nitrógeno, fósforo y recuento bacteriológico (determinación de Coliformes totales y fecales, importante para el re uso del agua), pueden ser medidos dos veces al mes, dependiendo del Tiempo de Detención Hidráulica (TDH), y empleados para la determinación de las eficiencias y cargas orgánicas que ingresan y salen del sistema.

4.4.2 Parámetros de operación:

Parámetros como el caudal y sus variaciones, carga hidráulica aplicada, carga orgánica aplicada, carga volumétrica aplicada y TDH[1]deben ser calculados y tenidos en cuenta para el diseño y la construcción de la PTAR.

[1]Fuente: Informe final contrato 276/04 Estudios y Diseños de Obras de Rehabilitación y Prediseños de Ampliación de 19 PTARs volumen I informe 3 pagina 2-2, EssereLtda-Gelver Ayala, octubre de 2005.

Se calcula el Tiempo de Detención Hidráulica de la siguiente manera:

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

Donde:

t = Tiempo de Detención Hidráulica (día)

V = Volumen (m^3)

Q = Caudal medio de entrada a la planta (m^3/día)

4.4.2.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR.

En las tablas que aparecen a continuación, se relacionan las actividades a seguir, paso a paso, correspondientes a cada una de las estructuras pertenecientes a la PTAR.

Tabla 4. Actividades para el mantenimiento del sistema de cribado.

ÍTEM	ACTIVIDAD	ACCIÓN
1	Inspección visual	Verificar estado de cada uno de los componentes de la estructura (tubería de entrada, tubería de salida, malla filtrante, cajón de recepción, tolva, chasis).
2	Mantenimiento que deben realizarse con periodicidad	Verificar los puntos de oxido presentes en la estructura metálica, y de esta forma corregirlos lijando y pintando para evitar desgaste por corrosión
3	Limpieza de paredes exteriores	Realizar la limpieza de las paredes externas de la estructura de la unidad de cribado con un cepillo.
4	Revisión del estado físico de la estructura	La estructura debe estar en buenas condiciones estéticas como pintura, corrosión, fisuras o grietas y demás situaciones que se puedan presentar
5	Registro de información de campo	Diligenciar en el libro de bitácora las labores ejecutadas y las novedades

		presentadas en la unidad durante el turno de operación según lo establecido en el instructivo (I-EGE-018) para este fin.

Tabla 5. Actividades para el mantenimiento del sistema de cribado.

ÍTEM	ACTIVIDAD	ACCIÓN
1	Verificar el día de ejecución de la labor.	Teniendo en cuenta que una vez a la semana se debe realizar limpieza profunda de las estructuras que conforman la canaleta Parshall, se deben ubicar en la rutina operacional los días y los tiempos en los cuales se va a desarrollar dicha labor. La descripción para dicha labor se estipula en el ítem 5. De lo contrario, todos los días se debe realizar limpieza de las paredes estructurales y de la regleta, actividad descrita en el ítem 4.
2	Utilizar los elementos de protección personal.	Utilizar los EPP que se necesitan para realizar la labor y así evitar cualquier riesgo a la salud.
3	Alistar herramientas y elementos.	Se debe tener a la mano todas las herramientas y elementos que se van a utilizar durante la actividad (palas, cepillos, gratas – cepillos metálicos -, etc.)
4	Limpieza diaria de la estructura.	A diario debe realizarse limpieza de las paredes y de la reglilla de aforo, con un cepillo de cerdas duras, removiendo todo tipo de residuos sólidos que se adhieran a las estructuras. Así mismo, con ayuda de un cepillo con cabo largo, se barre el piso de la estructura en sentido del flujo del agua, para evitar que se acumulen sólidos aunque la

		velocidad del fluido y el diseño de la canaleta ayudan en esta labor a medida que fluye el agua por la misma. Estas labores deben hacerse empleando solamente agua (puede ser el mismo líquido entrante), evitando el uso cualquier tipo de detergentes, jabones u otro producto destinado para el aseo puesto que sus componentes químicos pueden alterar las condiciones del agua residual ingresante al tratamiento, y en el peor de los casos, modificar las cualidades biológicas de los microorganismos presentes en el tratamiento secundario.
5	Limpieza profunda de la estructura.	Cuando la rutina lo disponga o antes de ser necesario, se debe realizar limpieza profunda de las estructuras, principalmente paredes internas y externas. Para el inicio de la labor, se recomienda el cierre parcial y temporal de la compuerta que regula el ingreso del agua residual cruda, puesto que resulta más fácil y eficiente hacer dicha labor sin flujo e identificar los puntos en los que el paso del agua ayuda acumular partículas. Dado que en las paredes de la estructura llegan a adherirse partículas, usualmente cerca de la línea o altura del agua, usando cepillo de mano de cerdas duras, deben restregarse las paredes de la canaleta despegando todo sólido. En este paso se deben limpiar las esquinas y uniones donde suele haber mayor acumulación de partículas, puesto que en

		la limpieza diaria no se llega a estos puntos. Sí los sólidos acumulados y removidos son muchos, deben ser barridos y retirados empleando un recogedor con cabo largo, pala o palín, aunque usualmente no hay mayor acumulación de los mismos dado el flujo propio del agua.
6	Apertura de las compuertas.	Inmediatamente después de terminar la limpieza profunda de la canaleta Parshall, se debe regular el ingreso del caudal establecido para el tratamiento.
7	Depósito de los residuos sólidos en la trinchera.	Todos los residuos sólidos removidos deben ser recogidos y transportados para disponerlos en la trinchera, siguiendo el instructivo determinado para este fin.
8	Realizar mantenimiento de las compuertas.	A diario debe hacerse el mantenimiento preventivo de los dispositivos de apertura y regulación del caudal, es decir compuertas. Para este fin se deben abrir al máximo y cerrar al límite las compuertas, girando el timón. Después de lo anterior, se debe ubicar el vástago en la altura usual de la compuerta. Lo anterior se realiza para evitar aglomeración de partículas y grasas en el vástago de la compuerta, y posibles obstrucciones y/o deterioro por oxidación en los mismos. Además, regularmente se deben engrasar los vástagos y/o los otros mecanismos de apertura de la compuerta. El tiempo para la ejecución de esta labor debe estipularse

		dependiendo del material en el que esté hecho el mecanismo.
9	Registro de la información.	Diligenciar en el libro de bitácora las labores ejecutadas y las novedades presentadas, según lo establecido en el instructivo (I-EGE-018) para este fin.

Tabla 6. Actividades para el mantenimiento de la canaleta Parshall.

ÍTEM	ACTIVIDAD	ACCIÓN
1	Verificar el día de ejecución de la labor.	Teniendo en cuenta que una vez a la semana se debe realizar limpieza profunda de las estructuras que conforman la canaleta Parshall, se deben ubicar en la rutina operacional los días y los tiempos en los cuales se va a desarrollar dicha labor. La descripción para dicha labor se estipula en el ítem 5. De lo contrario, todos los días se debe realizar limpieza de las paredes

		estructurales y de la regleta, actividad descrita en el ítem 4.
2	Utilizar los elementos de protección personal.	Utilizar los EPP que se necesitan para realizar la labor y así evitar cualquier riesgo a la salud.
3	Alistar herramientas y elementos.	Se debe tener a la mano todas las herramientas y elementos que se van a utilizar durante la actividad (palas, cepillos, gratas – cepillos metálicos -, etc.)
4	Limpieza diaria de la estructura.	A diario debe realizarse limpieza de las paredes y de la reglilla de aforo, con un cepillo de cerdas duras, removiendo todo tipo de residuos sólidos que se adhieran a las estructuras. Así mismo, con ayuda de un cepillo con cabo largo, se barre el piso de la estructura en sentido del flujo del agua, para evitar que se acumulen sólidos aunque la velocidad del fluido y el diseño de la canaleta ayudan en esta labor a medida que fluye el agua por la misma. Estas labores deben hacerse empleando solamente agua (puede ser el mismo líquido entrante), evitando el uso cualquier tipo de detergentes, jabones u otro producto destinado para el aseo puesto que sus componentes químicos pueden alterar las condiciones del agua residual ingresante al tratamiento, y en el peor de los casos, modificar las cualidades biológicas de los microorganismos presentes en el tratamiento secundario.
5	Limpieza profunda de la estructura.	Cuando la rutina lo disponga o antes de ser necesario, se debe realizar limpieza profunda de las estructuras, principalmente paredes internas y externas.

		Para el inicio de la labor, se recomienda el cierre parcial y temporal de la compuerta que regula el ingreso del agua residual cruda, puesto que resulta más fácil y eficiente hacer dicha labor sin flujo e identificar los puntos en los que el paso del agua ayuda acumular partículas. Dado que en las paredes de la estructura llegan a adherirse partículas, usualmente cerca de la línea o altura del agua, usando cepillo de mano de cerdas duras, deben restregarse las paredes de la canaleta despegando todo sólido. En este paso se deben limpiar las esquinas y uniones donde suele haber mayor acumulación de partículas, puesto que en la limpieza diaria no se llega a estos puntos. Sí los sólidos acumulados y removidos son muchos, deben ser barridos y retirados empleando un recogedor con cabo largo, pala o palín, aunque usualmente no hay mayor acumulación de los mismos dado el flujo propio del agua.
6	Apertura de las compuertas.	Inmediatamente después de terminar la limpieza profunda de la canaleta Parshall, se debe regular el ingreso del caudal establecido para el tratamiento.
7	Depósito de los residuos sólidos en la trinchera.	Todos los residuos sólidos removidos deben ser recogidos y transportados para disponerlos en la trinchera, siguiendo el instructivo determinado para este fin.
8	Realizar mantenimiento de las compuertas.	A diario debe hacerse el mantenimiento preventivo de los dispositivos de apertura y regulación del caudal, es decir compuertas.

		Para este fin se deben abrir al máximo y cerrar al límite las compuertas, girando el timón. Después de lo anterior, se debe ubicar el vástago en la altura usual de la compuerta. Lo anterior se realiza para evitar aglomeración de partículas y grasas en el vástago de la compuerta, y posibles obstrucciones y/o deterioro por oxidación en los mismos. Además, regularmente se deben engrasar los vástagos y/o los otros mecanismos de apertura de la compuerta. El tiempo para la ejecución de esta labor debe estipularse dependiendo del material en el que esté hecho el mecanismo.
9	Registro de la información.	Diligenciar en el libro de bitácora las labores ejecutadas y las novedades presentadas, según lo establecido en el instructivo para este fin.

Tabla 7. Paso a paso para el mantenimiento del desarenador.

ÍTEM	ACTIVIDAD	ACCIÓN
1	Utilizar los elementos de protección personal	Utilizar los EPP que se necesitan para realizar la labor y evitar cualquier riesgo a la salud.
2	Alistar herramientas de mano	Se debe tener a la mano las herramientas que se van a utilizar en la actividad (palas, palustres, cepillos, etc.).
3	Realizar mantenimiento de equipos mecánico	Lubricar los dispositivos de apertura de compuerta, vástago, válvula, y demás elementos que lo requieran, de acuerdo con instructivo elaborado para este fin (I-EGE-020).

4	Realizar mantenimiento de zonas verdes	Ejecutar mantenimiento de zonas verdes de acuerdo al instructivo correspondiente (I-EGE-017)
5	Limpieza de paredes exteriores	Realizar la limpiar de las paredes externas de la estructura de la unidad desarenadora con un cepillo.
6	Revisión del estado físico de la estructura	La estructura debe estar en buenas condiciones estéticas como pintura, corrosión, fisuras o grietas y demás situaciones que se puedan presentar
7	Registro de información de campo	Diligenciar en el libro de bitácora las labores ejecutadas y las novedades presentadas en el cribado durante el turno de operación según lo establecido en el instructivo para este fin.

4.4.2.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO.

En las tablas que aparecen a continuación, se relacionan las actividades a seguir, paso a paso, correspondientes al tratamiento secundario, que para la PTAR La Calera, hacen referencia a reactor SBR, digestor aerobio.

Tabla 8. Actividades para el mantenimiento del reactor SBR.

ÍTEM	ACTIVIDAD	ACCIÓN
1	Utilizar los elementos de protección personal	Utilizar los EPP que se necesitan para realizar la labor y evitar cualquier riesgo a la salud.
2	Alistar herramientas de mano	Se debe tener a la mano las herramientas que se van a utilizar en la actividad (palas, palustres, cepillos, etc.).
3	Realizar mantenimiento de equipos mecánico	Lubricar los dispositivos de apertura de compuerta, vástago, válvula, y demás elementos que lo requieran, de acuerdo a las actividades de mantenimiento preventivo (F-EGE-020).

5	Realizar limpieza de espumas y material ajeno a la estructura	El operario debe realizar el mantenimiento de la estructura (paredes aledañas al borde del reactor, barandas y pasarelas) según lo estipule la rutina operacional del sistema, utilizando cepillo tipo EDIS largo y corto, y agua para dicha labor, el material removido se debe registrar en el formato de control diario la remoción de sólidos en volumen o peso los sólidos retirados. La labor de limpieza realizada debe ser registrada en la bitácora del PTAR. Se deben llevar a cabo las actividades determinadas en el instructivo respectivo para el manejo y disposición de residuos sólidos.
6	Registro de información de campo	Se deben llevar a cabo las actividades determinadas en el instructivo respectivo para el manejo y disposición de residuos sólidos.

Tabla 9. Actividades para el mantenimiento del digestor aerobio

ÍTEM	ACTIVIDAD	ACCIÓN
1	Utilizar los elementos de protección personal	Utilizar los EPP que se necesitan para realizar la labor y evitar cualquier riesgo a la salud.
2	Alistar herramientas de mano	Se debe tener a la mano las herramientas que se van a utilizar en la actividad (palas, palustres, cepillos, etc.).
3	Realizar mantenimiento de equipos mecánico	Lubricar los dispositivos de apertura de compuerta, vástago, válvula, y demás elementos que lo requieran, de acuerdo a las actividades de mantenimiento preventivo (F-EGE-020).
4	Realizar limpieza de espumas y material ajeno a la estructura	El operario debe realizar el mantenimiento de la estructura (paredes aledañas al borde del digestor aerobio, barandas y pasarelas) según lo estipule la rutina operacional del sistema, utilizando cepillo tipo EDIS largo y corto, y agua para dicha labor, el material removido se debe registrar en el formato de control diario la remoción de sólidos en volumen o peso los sólidos retirados. La labor de limpieza realizada debe ser registrada en la bitácora del PTAR. Se deben llevar a cabo las actividades determinadas en el instructivo respectivo para el manejo y disposición de residuos sólidos.
5	Registrar información	Diligenciar en el libro de la bitácora hora de la actividad y tiempo en que se llevo realizar la limpieza y mantenimiento de la estructura y el estado de sus equipos.

5 OPERACIÓN

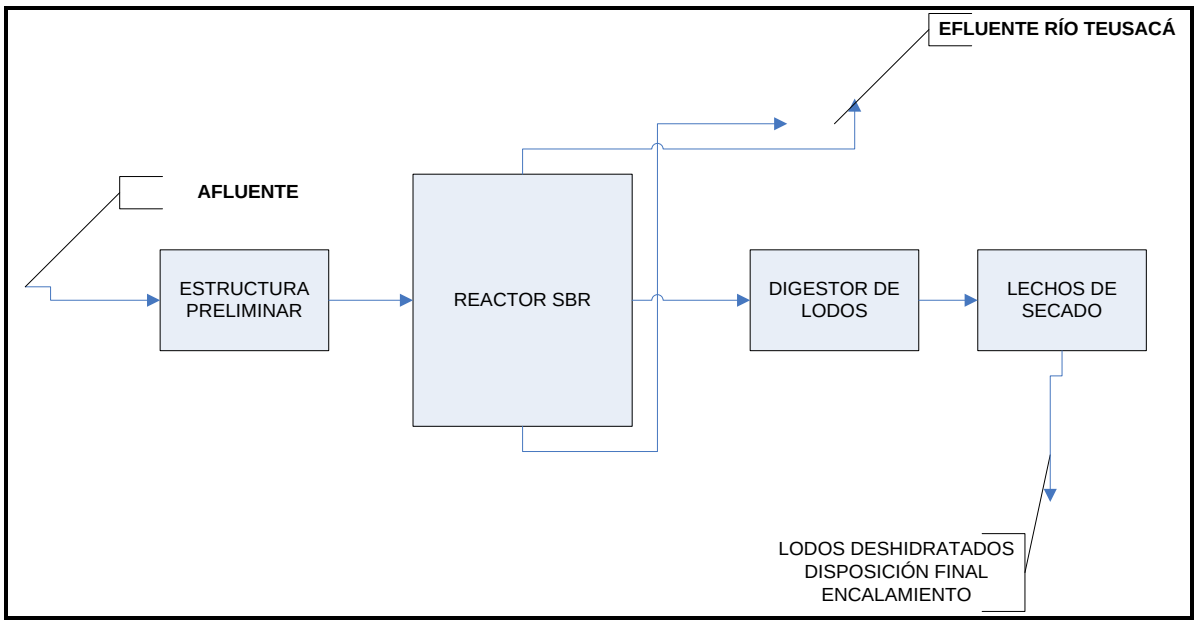
Operación son las acciones que garantizan el funcionamiento adecuado del sistema hidráulico y del proceso biológico que se lleva a cabo en la PTAR. La operación de la PTAR contempla tanto el trabajo rutinario con frecuencia diaria, semanal o mensual, como el trabajo ocasional.

Con el fin de garantizar que el efluente contenga agua residual tratada que supere las características estipuladas en la normativa de vertimientos a nivel nacional[2], que es el objetivo principal de la PTAR; se desprende el presente documento, Manual de Operación del Sistema, cuyo principal objetivo es presentar al operador una guía básica para la operación de las unidades que componen la PTAR.

La PTAR de La Calera es operada 24 horas, en turnos de 12:00 am a 06:00 am, 06:00 am a 12:00 pm, 12:00 pm a 06:00 pm y de 06:00 pm a 12:00 am, de lunes a lunes.

Figura 3. Diagrama de procesos llevados a cabo en la PTAR La Calera.

[2] Decreto 1594 de 1984.



Fuente: ESPUCAL. E.S.P.

Con el propósito de brindar la información idónea para la operación y mantenimiento del sistema, se establecieron dos tipos de documento. Uno que se desarrolló en conjunto con el o los operadores del sistema, llamado rutinas operacionales donde se tienen en cuenta las estructuras, los tiempos de labores y una descripción breve de las mismas (expuesta a continuación), y otro documento, segmentado por cada una de las estructuras presentes en el sistema, llamados Instructivos de Operación y Mantenimiento, en donde se consignan paso a paso las labores y actividades a ejecutar.

El primero de los documentos antes mencionado, la rutina operacional, es una tabla donde se estipulan las actividades que deben ejecutarse a diario como la limpieza y mantenimiento de las partes que componen la PTAR, de las cuales depende el funcionamiento hidráulico y las características de los vertimientos.

Tabla 10. Rutina operacional PTARLA CALERA

RUTINAS OPERACIONALES PTAR LA CALERA

COMPONENTES	DESCRIPCION LABOR	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
Rejillas de cribado	Remoción de residuos sólidos	Todos los días cada 2 horas o según corresponda						
Cámara de llegada y alivio	Limpieza paredes	6:00 - 9:00	6:00 - 7:00	6:00 - 7:00	6:00 - 9:00	6:00 - 7:00	6:00 - 7:00	6:00 - 7:00
Canaleta Parshall	Limpieza paredes		6:00 - 7:00	6:00 - 7:00		6:00 - 7:00	6:00 - 7:00	6:00 - 7:00
Unidades desarenadoras y estructura de apoyo	Limpieza paredes		6:00 - 7:00	6:00 - 7:00		6:00 - 7:00	6:00 - 7:00	6:00 - 7:00
Pozo distribución de caudales	Limpieza paredes	Una vez al mes (labor con apoyo cuadrilla mantenimiento)						
SBR 1 y 2 - Digestor	Limpieza paredes de los tanques	*	7:00 a 9:00	7:00 a 9:00	*	7:00 a 9:00	7:00 a 9:00	7:00 a 9:00
	Limpieza general estructuras	Una vez al mes (labor con apoyo cuadrilla mantenimiento)						
Pasamanos	Limpieza	Cada quince días						
Actividades de jardinería	Poda	Todos los días de 09:00 a 12:00						
	Rebordeo							
	Platinado barrera forestal							
ALMUERZO	De 12:00 a 13:00							
Estructuras vertederos	Limpieza paredes	Todos los días de 13:00 a 14:00						
ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS								
SBR No. 1 y 2 y Digestor	Operación	Todos los días durante todos los turnos, según corresponda.						
Trincho	Disposición sólidos	Todos los días al finalizar remoción de sólidos rejillas de cribado y/o lechos de secado						
	Adición de cal	Todos los días al finalizar la jornada.						
Muestreo	Toma de muestras	Desde 12:00 a 24:00 hs cada hora, o según lo informado por equipo Técnico Conhydra						
Medición de caudales	Lectura regleta afluente	Todos los días desde las 8 hs hasta las 18 hs, cada 2 hs, ó según corresponda						
Formatos y bitácora	Registro de datos	Todos los días al finalizar cada labor						

Fuente: ESPUCAL. E.S.P.

RUTINAS OPERACIONALES PTAR LA CALERA

COMPONENTES	DESCRIPCION LABOR	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
Rejillas de cribado	Remoción de residuos sólidos	Todos los dias cada 2 horas o según corresponda						
Actividades de jardineria	Poda	Todos los dias de 14:00 a 16:00 hs						
	Rebordeo							
	Platinado barrera forestal							
Lechos de secado	Remoción de lodos deshidratados	Todos los dias de 16:00 a 19:00						
	Limpieza y mantenimiento							
	Encalamiento							
Caseta de operaciones	Limpieza pisos, paredes	Todos los dias de 19:00 a 22:00						
Rejillas de cribado	Remoción de residuos sólidos	Todos los dias cada 2 horas o según corresponda						
Baño	Lavado general	Todos los dias de 18:00 a 19:00						
Bodega y Subestación eléctrica	Limpieza general	Todos los dias de 19:00 a 20:00						
Recorrido general	Desde las 20:00 a 06:00 hs, cada hora, verificando operación y estado de todas los compomentes. Registrar en bitácora							
ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS								
SBR No. 1 - 2 y digestor	Operación	Todos los dias durante todos las turnos, según corresponda.						
Trincha	Disposición sólidos	Todos los dias al finalizar remoción de sólidas rejillas de cribado y/o lechos de secado						
	Adición de cal	Todos los dias al finalizar la jornada.						
Medición de caudales	Lectura regleta afluente	Todos los dias desde las 8 hs hasta las 18 hs, cada 2 hs ó según corresponda						
Formatos y bitácora	Registro de datos	Todos los dias al finalizar cada labor						

Fuente: ESPUCAL E.S.P.

A continuación se estipula la operación por fase de tratamiento (preliminar, secundario, manejo y disposición de residuos sólidos), así como la operación global del sistema. Las

tablas a continuación expuestas contienen las labores paso a paso consignadas en los instructivos diseñados para cada uno de los componentes de la PTAR.

5.1 OPERACIÓN DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR.

En las tablas continuas, se estipulan las labores que se deben ejecutar para la operación de los componentes que pertenecen al tratamiento preliminar.

5.1.1 Cribado:

Comprende la remoción y disposición de residuos sólidos provenientes de la acumulación de los mismos en el sistema de cribado. Esta labor está estipulada para ejecutarse aproximadamente cada dos horas, con el fin de evitar taponamiento por los residuos sólidos en las rejillas - tamices, y pérdidas de caudal; además de garantizar que los sólidos de gran tamaño no obstruyan el sistema hidráulico y que no lleguen al tratamiento secundario.

El material retenido en las rejillas se descompone muy rápidamente produciendo olores desagradables. Este material debe recolectarse en carretillas o canecas dispuestas junto a la estructura y disponerse inmediatamente haya terminado la labor en el trincho.

Paredes, rejillas y bandejas de escurrido, deben limpiarse con la misma agua residual y cepillo, evitando el uso de cualquier agente químico que pueda llegar a afectar las condiciones biológicas del tratamiento.

Tabla 11. Paso a paso para la operación de la unidad del cribado.

ÍTEM	ACTIVIDAD	ACCIÓN
1	Utilizar los elementos de protección personal (EPP)	Utilizar los EPP que se necesitan para realizar la labor y evitar cualquier riesgo a la salud.

2	Alistar herramientas de mano	Se debe tener a la mano las herramientas que se van a utilizar en la actividad (palas, palustres, cepillos, etc.).
3	Realizar medición y control del nivel del agua	Verificar que las bombas de impulsión estén trabajando, y que el agua afluente sea suficiente para garantizar un flujo continuo en el tamiz.
4	Revisar estado de componentes de la estructura	Realizar diariamente Inspección visual del estado de los componentes que conforman la estructura. Inspeccionar que no se esté generando represamiento por los sólidos gruesos que trae consigo el agua residual en las tuberías de conducción hacia los tamices y a la salida de los mismos.
5	Realizar de remoción de sólidos	Efectuar la limpieza de los sólidos, usar una escoba que ayude a apilar los sólidos en las tolvas permitiendo así el paso del agua residual hacia la siguiente fase del sistema preliminar (Desarenador)
6	Realizar limpieza de tolvas	Abrir válvula de la tolva y desocupar sobre una carretilla los residuos sólidos removidos. Disponer dichos residuos en la trinchera y cubrir con cal para evitar generación de vectores y malos olores. Lavar con agua con baldes o manguera, y cepillo (tipo grata metálica), las tolvas que han recolectado todo los sólidos que entran en el agua residual.
7	Registro de información de campo	Diligenciar en el libro de bitácora las labores ejecutadas y las novedades presentadas en la unidad durante el turno de operación según lo establecido en el instructivo para este fin.
		Registrar en el formato de control diario la remoción de sólidos (F-CAR-005)en volumen o peso los sólidos retirados.

8	Disposición final	Se deben llevar a cabo las actividades determinadas en el instructivo respectivo para el manejo y disposición de residuos sólidos.

5.1.2 Desarenadores:

La operación de estas unidades es indispensable para evitar la acumulación de arena y demás material inerte en las unidades siguientes. De la eficiencia del desarenador depende la eficiencia en la remoción de Los reactores.

En condiciones normales de trabajo los desarenadores deben limpiarse cuando las arenas depositadas llenen un 50 o 60 % del espacio de almacenamiento. Para el caso puntual de la PTAR, esta condición se presenta cada 8 días. La presencia de olores desagradables (como a huevo u hortalizas podridas) indica excesiva acumulación de las arenas, para lo cual debe alternarse el desarenador o ajustar el vertedero de control a la salida.

Sí es el caso de cambio de unidad desarenadora, se debe cerrar la compuerta del desarenador que va a salir de operación, y abrir la compuerta que entra a operar.

Cuando se vaya a efectuar el mantenimiento a un desarenador y éste tenga que salir de servicio, se recomienda antes de cerrarlo iniciar el llenado de la otra unidad para evitar un rebosamiento.

Adicionalmente, y debido a que el sistema de alcantarillado es mixto o combinado, los desarenadores deben limpiarse después de cada evento de precipitación fuerte.

Tabla 12. Paso a paso para la operación de la unidad desarenadora.

ÍTEM	ACTIVIDAD	ACCIÓN
1	Utilizar los elementos de protección personal	Utilizar los EPP que se necesitan para realizar la labor y evitar cualquier riesgo a la salud.
2	Alistar herramientas de mano	Se debe tener a la mano las herramientas que se van a utilizar en la actividad (palas, palustres, cepillos, etc.).

3	Realizar medición y control del nivel del agua	Verificar el nivel de agua en el dispositivo de aforo de cada unidad.
4	Revisar estado de componentes de la estructura	Realizar diariamente Inspección visual del estado de los componentes que conforman la estructura.
5	Abrir el flujo de agua de la unidad que se va poner en operación.	Abrir la válvula o compuerta de entrada al canal y proceder al llenado para evitar un rebosamiento de la unidad que se le va a realizar mantenimiento.
6	Cerrar el flujo de agua de la unidad que va realizar mantenimiento	Cerrar la válvula o compuerta de entrada al canal de desarenado que se encuentra activo.
7	Desocupar la unidad para inicio de la limpieza	Drenar el agua hasta obtener una consistencia más sólida de los sedimentos, para proceder a retirarlos.
8	Limpiar de canal de desarenación	Desprender el material adherido en el fondo y en las paredes de la cámara, utilizando escobilla con cerdas de material sintético.
		Retirar los sedimentos y depositarlos en un balde o en la carretilla, para llevarlos hasta los trinchos de disposición final.
		Con palas, cubetas, baldes, tablas y carretilla, remover los sedimentos del tanque, empujándolos hacia el drenaje y llevándolos fuera del lugar.
		Raspar el fondo del tanque y dejarlo completamente limpio.
		Si hay manguera, rociar los sedimentos del fondo.

		Enjuagar completamente el tanque antes de restaurar su funcionamiento.
9	Otros mantenimientos que deben realizarse con periodicidad	Engrasado de los dispositivos de apertura de compuertas (vástagos), mensualmente.
10	Registro de información de campo	Diligenciar en el libro de bitácora las labores ejecutadas y las novedades presentadas en la unidad durante el turno de operación según lo establecido en el instructivo (I-EGE-018) para este fin.
		Registrar en el formato de control diario la remoción de sólidos (I-EGE-014) en volumen o peso los sólidos retirados.
11	Disposición final	Se deben llevar a cabo las actividades determinadas en el instructivo respectivo para el manejo y disposición de residuos sólidos. (I-EGE-018)

5.1.3 Medición de Caudal:

La medición de caudales se realiza para garantizar que el flujo que ingresa a la PTAR esté de acuerdo con los criterios de diseño de la misma.

Como medida de control, la medición del caudal se realiza todos los días desde las 8 h hasta las 18 h, cada dos horas, para determinar el caudal promedio, mínimo y los picos. Igualmente todos los viernes, se mide el caudal 24 h.

La medición del caudal se realiza mediante la lectura de la reglilla (en centímetros), dispuesta a un costado de la canaleta Parshall de 9", para posteriormente determinar el caudal (en litros / segundos), estipulado en la tabla de aforo de caudales, estandarizada para las dimensiones de la estructura de aforo. Dicho dato debe registrarse en el formato de control de caudales.

Tabla 13. Paso a paso para la operación de la canaleta Parshall.

ÍTEM	ACTIVIDAD	ACCIÓN
1	Utilizar los elementos de protección personal.	Utilizar los EPP que se necesitan para realizar la labor y así evitar cualquier riesgo a la salud.
2	Alistar herramientas y elementos.	Se debe tener a la mano todas las herramientas y elementos que se van a utilizar durante la actividad (cepillo o algún elemento para limpiar la regleta de medición)
3	Revisión de las condiciones estructurales.	A diario se debe realizar inspección visual del estado de los componentes que conforman la estructura. Dado caso que se presente algún tipo de anomalía a nivel estructural, el operador debe informar inmediatamente al supervisor del sistema y anotar en la bitácora siguiendo el instructivo para el diligenciamiento de la misma.
4	Medición del caudal.	Verificar el nivel de la columna de agua (altura) en la regleta de aforo de la canaleta Parshall. Buscar la altura leída en el paso anterior (usualmente dada en centímetros), en la tabla de aforo específica para la unidad que se está operando[3], y determinar cuál es el caudal correspondiente.
5	Control del caudal.	De ser necesario, ajustar la compuerta de entrada para alcanzar el caudal de operación o el de diseño. Esta actividad debe ejecutarse bajo supervisión técnica.
6	Registro de la información.	Diligenciar el caudal obtenido en el formato de Control diario de medición de caudales (F-EGE-003) y/ó Control de medición caudal horario (F-EGE-004)

[3]Para cada canaleta Parshall, dependiendo del ancho de la garganta "W" corresponden determinados caudales.

		Diligenciar en el libro de bitácora las labores ejecutadas y las novedades presentadas en la unidad durante el turno de operación según lo establecido en el instructivo para este fin.

5.1.4 Paredes internas y externas de las estructuras preliminares.

Limpieza de las paredes internas (principalmente) y externas de todas las estructuras componentes del tratamiento preliminar, evitando así acumulación de sólidos o colonización de algas u otros briófitos, que aceleren el proceso de intemperización y/o corrosión de los minerales que conforman las paredes estructurales.

5.2 OPERACIÓN DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO.

Usualmente durante la tarde, el operador se dedica a realizar las labores de operación y mantenimiento del tratamiento secundario, así como de carreteables y zonas verdes.

En la tabla 15 se estipulan las actividades que se deben ejecutar para la operación de los reactores SBR.

Tabla 14. Operación del reactor SBR

ÍTEM	ACTIVIDAD	ACCIÓN
1	Utilizar los elementos de protección personal	Utilizar los EPP que se necesitan para realizar la labor y evitar cualquier riesgo a la salud.
2	Alistar herramientas de mano	Se debe tener a la mano las herramientas que se van a utilizar en la actividad (palas, palustres, cepillos, etc.).
3	Revisar estado de componentes del reactor SBR	Realizar diariamente Inspección visual del estado de los componentes que conforman la estructura. En caso de presentarse alguna novedad en el estado notificar al supervisor de planta.

		Verificar que las paredes del reactor no presenten fisuras o grietas, o lama entre sus placas de concreto.
4	Controlar el flujo mediante válvulas	Abrir o cerrar la válvula de alimentación al reactor para empezar el ciclo de tratamiento.
5	Operar los componentes del SBR	Inspeccionar el buen funcionamiento de los equipos electromecánicos y el tablero de control. El sistema SBR involucra las fases de llenado, reacción, sedimentación y decantación; dichas fases funcionan de manera consecutiva y se deben accionar desde el tablero de control teniendo en cuenta las siguientes duraciones diseñadas para cada fase: - Llenado y mezclado mecánico: 5 horas. - Llenado y reacción: Al terminar la primera hora de llenado comienza de manera alterna los ciclos de encendido (1 hora) / apagado (1 hora) de aireación durante 5 horas. - Reacción: 1 hora inmediatamente después que termina la fase llenado y mezclado. - Sedimentación: 1 hora. - Decantación y desocupado parcial del reactor: 2 horas. - Desecho de lodos: 8 minutos al finalizar la fase de decantación. - Reposo: 1 hora. Durante cada fase se debe tener en cuenta: - Llenado y mezclado mecánico: Se debe accionar desde el tablero de control el mezclador mecánico AquaDDM, la válvula del afluente debe estar abierta, el sistema de aireación solo opera de manera alterna a partir de la primera hora, la bomba de lodos fuera de operación y el vertedero del decantador cerrado.

		- Llenado y reacción: Continúa en operación el mezclador mecánico, válvula del afluente continúa abierta, el sistema de aireación (soplador y difusor) es encendido desde el tablero de control, bomba de lodos fuera de operación y vertedero del decantador cerrado. - Reacción: Se cierra válvula del afluente, mezclador mecánico AquaDDM continúa en operación, el sistema de aireación (soplador y difusor) en operación, bomba de lodos fuera de operación y vertedero del decantador cerrado. - Sedimentación: Válvula del afluente continúa cerrada, el mezclador mecánico AquaDDM y el sistema de aireación (soplador y difusor) son apagados, bomba de lodos fuera de operación y vertedero del decantador cerrado. - Decantación y desocupado parcial del reactor: Válvula del afluente cerrada, el mezclador mecánico AquaDDM y el sistema de aireación es apagada, unidad decantadora accionada y se inicia la apertura del vertedero de la unidad decantadora, continúa fuera de operación la bomba de lodos; La fase de decantación finaliza una vez el nivel del agua llega a la profundidad mínima de diseño, en este punto, la unidad decantadora y el vertedero del decantador se cierran. Si el mínimo se logra antes del final de la duración programada de esta fase, el tiempo restante es utilizado como fase de reposo, donde todos los componentes del reactor se encuentran fuera de operación.

		- Desecho de lodos: La evacuación de lodos al digestor comienza minutos finales de la fase de Decantación/Reposo accionando únicamente la bomba de lodos desde el tablero de control. - Reposo: todos los equipos fuera de operación. El reactor SBR está diseñado para operar con 2 ciclos completos de tratamiento por día, y teniendo en cuenta que el sistema de tratamiento posee dos reactores en paralelo, se alternar de tal modo que cuando un reactor culmine la fase de llenado/mezclado el otro empiece la operación de esta misma fase. En caso que estos presenten fallas en su funcionamiento debe notificarse al supervisor de planta para que se tomen las medidas que correspondan.
6	Verificación de características perceptivas	En los reactores se debe revisar a diario la presencia de espumas (que debe ser mínima o nula durante las fases de llenado y mezclado), así como los sobrenadantes (que originan turbiedad y deterioro en las estructuras en las fases de sedimentación y decantación), olores excesivos y color anormal del agua residual en varias etapas del proceso. Además de informar cualquier anomalía que estas características indiquen, el operador debe registrar dichas características en el formato: Características Perceptivas (código F-EGE-001).
7	Realizar control del licor de mezcla en el reactor SBR	La operación del reactor SBR comprende acciones que regulen la biomasa en el sistema, permitiendo al operador acciones operativas exitosas.

		La prueba del cono Imhoff es una herramienta importante en el diagnostico del proceso de tratamiento. Los resultados de esta prueba pueden utilizarse para informarle al operador sobre la calidad del lodo y los problemas potenciales como lo son sólidos en el efluente. - Para realizar la prueba del cono Imhoff, se debe seguir el siguiente procedimiento: - Retirar una muestra de licor de mezcla en cinco puntos de control del reactor en un balde previamente purgado. - Agitar constantemente la muestra tomada con el fin de mantenerla homogenizada. - Depositar un litro de la muestra en el cono Imhoff y mantenerlo en reposo verticalmente en el soporte por un tiempo de una hora. - Trascurrido la hora de sedimentación se lee la cantidad de sólidos precipitados que se encuentran en el fondo del cono. - Registrar el valor que arroja la prueba en el formato de Medición De Control de Sólidos Sedimentables - De acuerdo a la cantidad obtenida en esta prueba, el operario debe tener en cuenta los rangos de diseño estipulados para tomar decisiones operativas: >480 mg/L se realiza transferencia de lodos al digestor. - Esta prueba debe ser realizada dos veces en el día por el operario para tener un valor

		representativo que permita realizar la transferencia de lodos cuando se requiera. - En el caso que se requiera efectuar transferencia de lodos al digestor el operario debe accionar las bombas de lodos desde el tablero de control.
7	Registro de información	Diligenciar en el libro de la bitácora anomalías presentadas en la unidad durante el turno de operación. Diligenciar el formato de Características Perceptivas (código F-EGE-001). Diligenciar el formato de Medición De Control De Sólidos Sedimentables (Código F-EGE-014)
8	Disposición final	Se deben llevar a cabo las actividades determinadas en el instructivo respectivo para el manejo y disposición de residuos sólidos. En el caso de purga de lodos se menciona como realizar de manera específica esta operación en el Instructivo de Manejo y disposición de Sólidos

Tabla 15. Operación del digestor aerobio.

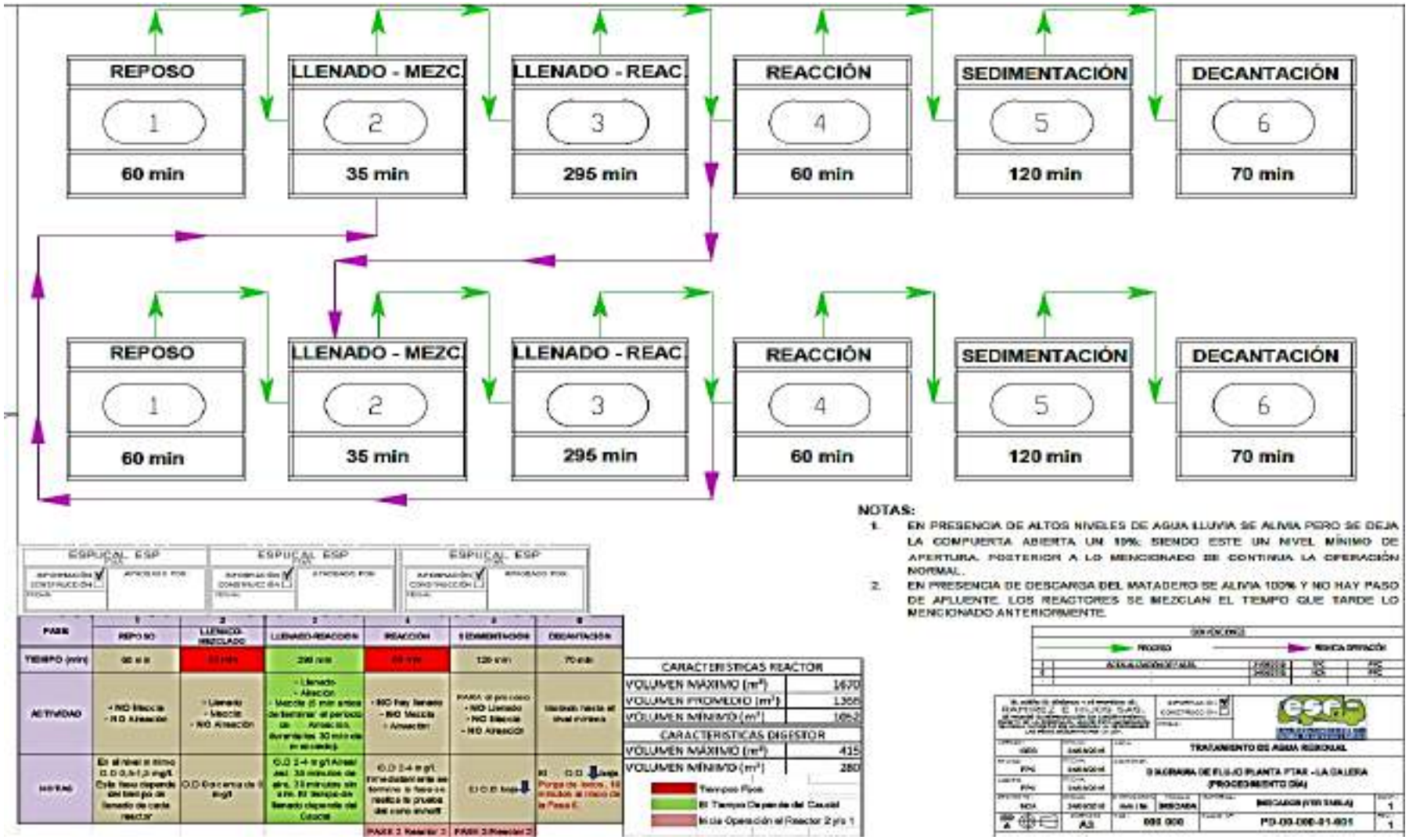
ÍTEM	ACTIVIDAD	ACCIÓN
1	Utilizar los elementos de protección personal	Utilizar los EPP que se necesitan para realizar la labor y evitar cualquier riesgo a la salud.
2	Alistar herramientas de mano	Se debe tener a la mano las herramientas que se van a utilizar en la actividad (palas, palustres, cepillos, etc.).

3	Revisar estado de componentes del digestor	Realizar diariamente Inspección visual del estado de los componentes que conforman la estructura. En caso de presentarse alguna novedad en el estado de las mismas notificar al supervisor de la planta. Verificar que las paredes del digestor no presenten fisuras o grietas. El operador debe estar atento a daños eléctricos y fallas de energía que afecten el funcionamiento del digestor. Verificar que no se estén presentando taponamientos en las tuberías de conducción del lodo que se está sacando de la estructura.
4	Controlar la transferencia de lodos mediante la bomba de paso	El paso de lodos al digestor se acciona desde el tablero de control por medio de la bomba de lodos.
5	Operar el digestor aerobio	Inspeccionar el buen funcionamiento de los equipos electromecánicos y el tablero de control. El digestor aerobio involucra las siguientes fases: - Recepción de lodos: cada vez que se acciona la bomba de transferencia de lodos del sistema de lodos activados. - Estabilización de lodos: se activa la operación del mezclador mecánico desde el tablero de control, dicho mezclador funciona de manera continua hasta que empiece la fase de reposo. - Reposo: Mezclador mecánico y bomba de transferencia de lodos fuera de operación. Tiempo de duración 60 minutos.

		- Purga de lodos: Se realiza apertura de válvula de evacuación de lodos digeridos a los lechos de secado. Esta acción se determina dependiendo de las siguientes características perceptivas: consistencia del lodo digerido (debe encontrarse espeso) y el color del mismo (café oscuro). El tiempo de duración de esta fase es de 80 minutos. En caso que el mezclador mecánico se detenga, el operador deberá verificar anomalías que el tablero de control indique e informar al supervisor de la planta y realizar anotación en bitácora.
6	Verificar características perceptivas	En el digestor aerobio se debe verificar a diario la presencia de sobrenadantes (que originan turbiedad y deterioro en las estructuras en las fases de sedimentación y decantación), olores excesivos y color anormal. Además de informar cualquier anomalía que estas características indiquen, el operador debe registrar dichas características en el formato: Características Perceptivas (código F-EGE-001).
7	Disposición final	La purga de lodos se menciona con detalle en el Instructivo de Manejo y disposición de Sólidos
8	Registrar de información	Diligenciar en el libro de la bitácora anomalías presentadas en la unidad durante el turno de operación. Diligenciar el formato de control diario de remoción de sólidos (F-EGE-005).
9	NOTA	Cualquier daño que se presente en los equipos electromecánicos de esta estructura deberán ser reparados por el personal especializado en el tema, y por ninguna razón el operario deberá intentar realizar dichas reparaciones.

La limpieza de paredes de los reactores y componentes estructurales, se realiza manualmente, removiendo las plantas que empiecen a crecer y que puedan llegar a meterse dentro del agua.

DIAGRAMA RESUMEN OPERACIÓN SBR



5.2.1 Limpieza de carreteables y mantenimiento de zonas verdes.

El operador debe mantener los carreteables totalmente transitables, así como las áreas verdes con césped bajo y presentable.

Las labores de poda comprenden: poda de las zonas verdes, plateado de los árboles que conforman barreras forestales y cercas vivas, así como aquellas plantas que son ornamentales.
Dichas labores las ejecuta el operador mediante la operación de guadañadora y en ocasiones, con ayuda de la cuadrilla de mantenimiento.

5.3 LABORES COMPLEMENTARIAS POR PARTE DEL OPERADOR.

A lo largo del turno de operación, el operador también debe realizar:

5.3.1 Manejo y Disposición de sólidos.

Todo tipo de sólido subproducto del tratamiento primario y secundario, deben ser pesados y transportados al trincho, donde se hará sus disposición final. Dicho agujero es aproximadamente de $1m^3$, ahí se hace la disposición final de los sólidos, a.los cuales se les esparce encima una capa de cal y una capa de suelo, buscando estabilizar los posibles agentes patógenos. Todas las veces que se dispongan sólidos, se deben tapar con cal y suelo, como se mencionó anteriormente.

Después que el trincho haya cumplido su vida útil, es decir, que se haya llenado este debe ser clausurado, disponiendo aproximadamente 10 cm de suelo negro, para dejar como capa superficial de cierre. Durante el proceso de adición de suelo se debe aprisionar el mismo, con el fin de compactar las capas más superiores y evitar, que con el tiempo, se hunda el material contenido.

Para determinar el peso del material removido, se tiene en cuenta un volumen previamente establecido. En la PTAR se toma el equivalente en peso, del volumen de sólidos contenidos en la carretilla en la que se transportan los sólidos hacia el lugar de disposición final.

La tabla 17, muestra el resumen de las actividades que se deben ejecutar para garantizar un adecuado manejo y operación de los residuos sólidos generados en la PTAR.

Tabla 16. Manejo y disposición de residuos sólidos.

ÍTEM	ACTIVIDAD	ACCIÓN
1	Utilizar los elementos de protección personal.	Utilizar los EPP que se necesitan para realizar la labor y así evitar cualquier riesgo a la salud.
2	Alistar herramientas y elementos.	Se debe tener a la mano todas las herramientas y elementos que se van a utilizar durante la actividad (palas, escobas, rastrillos, carretilla etc.)
3	Recolección y transporte de los sólidos generados.	Toda vez que se haga la remoción de residuos sólidos (excepto los residuos extraídos de los cribados que deben dejarse escurrir), incluyendo los lodos deshidratados y encalados en los lechos de secado, deben ser recogidos del lugar de extracción inmediatamente al finalizar la labor, y transportados en una carretilla hacia el lugar de disposición final llamado trinchera. La recolección se realiza con la ayuda de palas para los sólidos gruesos, y con escobas para retirar los sólidos de menor tamaño, depositándolos en la carretilla para su transporte. En el caso de sobrenadantes presentes en las aguas de los reactores, la extracción se hace empleando una naza, y teniendo en cuenta que la naza actúa como un colador dejando escapar los excesos de agua, los sobrenadantes son depositados en una carretilla para su transporte.

		Los residuos de poda son dispuestos directamente en la trinchera, pueden ubicarse en la capa superior tapando los otros residuos dispuestos anteriormente.
4	Depositar los sólidos en la trinchera.	Todos los tipos de residuos sólidos antes mencionados, previamente recogidos y transportados, deben ser depositados en las trincheras excavadas para este fin, una vez terminada la labor, o en el caso de los residuos sólidos extraídos de los cribados, posterior su escurrimiento.
5	Adicionar cal o encalamiento.	Después de depositar cualquier tipo de residuo sólido en la trinchera, estos deben taparse con una fina capa de suelo y una capa de cal.
6	Verificar condiciones de la trinchera.	En el momento de hacer la deposición de los sólidos y la adición de suelo y de cal sobre los mismos, el operario debe verificar las condiciones de trinchera, comprobando la altura de la excavación (para determinar sí es necesario la apertura de una nueva). También debe evaluar sí hay generación de olores provenientes de la trinchera, o si hay presencia de vectores. De presentarse alguna de las anteriores situaciones, deben tomarse las medidas correctivas correspondientes.
7	Clausura y apertura de una nueva trinchera.	Después que la trinchera haya cumplido su vida útil, es decir, que se haya llenado, debe ser clausurado. Se disponen aproximadamente 10 cm de suelo negro, para dejar como capa superficial de cierre. Durante el proceso de adición de suelo se debe aprisionar el mismo, con el fin de compactar las capas más superiores y evitar, que con el tiempo, se hunda el material contenido.

		La apertura de una nueva trinchera consiste en excavar un agujero en el suelo, aproximadamente de 1m^3, en el cual se continuará haciendo la disposición final de los residuos sólidos.
8	Registrar información.	En el formato de Control de secado de lodos (F-EGE-009), se estipula la fecha, la altura de los lodos, y si hay o no presencia de vectores. Debe haber un formato para cada unidad de lodos de secado. Este debe ser diligenciado cada vez que se mida la columna de lodos o se adicione cal. Los volúmenes de residuos sólidos removidos diferentes a los lodos deshidratados en los lechos de secado, deben registrarse en el formato de Control diario de remoción de sólidos (F-EGE-005) Diligenciar en el libro de bitácora las labores ejecutadas y las novedades presentadas, según lo establecido en el instructivo (I-EGE-018) para este fin.

5.3.2 Muestreo del Afluente y Efluente:

Dependiendo el Tiempo de Detención Hidráulico (TDH = 1 día), se toman muestras compuestas y puntuales de afluente y efluente, para determinar las concentraciones de los siguientes parámetros: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Oxígeno Disuelto (OD), fósforo total, nitrógeno como nitratos, sulfuros, sulfatos y recuento bacteriológico (coliformes totales y fecales).

La toma de muestras puntuales es labor puntual de los operadores del sistema y en la tabla 18, se estipulan las actividades paso a paso que se deben ejecutar para garantizar la fiabilidad de las muestras.

Tabla 17. Labores de los operadores del sistema para la toma de muestras de aguas residuales.

ÍTEM	ACTIVIDAD	ACCIÓN
1	Utilizar los elementos de protección personal.	Utilizar los EPP que se necesitan para realizar la labor y así evitar cualquier riesgo a la salud.
2	Alistar herramientas y elementos.	Se debe tener a la mano todas las herramientas y elementos que se van a utilizar durante la actividad (baldes, cepillos, frascos, reactivos etc.). No es necesario rotular los frascos, ya que estos poseen rótulo definido y permanente.
3	Limpieza del punto de la toma de muestra.	El operador, antes de la toma de muestras, debe limpiar la cámara de llegada o el punto donde se vaya a tomar la misma, retirando los sólidos precipitados en el fondo de la estructura, con el fin de garantizar que los sólidos llevados en la muestra sean los que están ingresando en el momento del muestreo y no los que ingresaron en tiempos anteriores.
4	Realizar purga a los envases y baldes para toma de muestra.	Antes de recolectar las muestras, es necesario purgar los recipientes, esto es, lavar dos o tres veces los recipientes con el agua que se va a recolectar.
5	Tomar de muestra	El agua de muestra debe recogerse en un balde, previamente purgado, ubicando la boca en sentido contrario al flujo. Para los dos puntos de toma de muestras (Afluente y Efluente) se deben recolectar 26 muestras. 13 muestras deben envasarse en garrafas plásticas de 250 ml, y 13 muestras deben ser envasadas en botellas de vidrio ámbar o marrón.

6	Preservar muestra	A las muestras destinadas para la determinación de DQO, es decir las envasadas en garrafas plásticas de 250 ml, se les debe adicionar 10 gotas de ácido sulfúrico (H_2SO_4).
7	Conservar muestra	Tan pronto se recoge la primera muestra puntual, deben conservarse con abundante hielo en la nevera y tapar la misma. Deben permanecer en la nevera hasta el momento de la composición en el sitio establecido.
8	Informar de novedades	En caso de presentarse inundaciones, fuertes lluvias, u otro tipo de incidentes que puedan alterar el agua del punto de muestreo, el operador debe notificar al supervisor.
9	Registro de la información.	En el momento de tomar la muestra puntual, debe diligenciar el formato de muestreos (F-EGE-002), estipulando la hora, el caudal y en la casilla de observaciones, sí hay alguna novedad como precipitaciones ó ingreso de vertimientos anómalos, entre otros. Diligenciar en el libro de bitácora las labores ejecutadas y las novedades presentadas en la unidad durante el turno de operación según lo establecido en el instructivo (I-EGE-018) para este fin.

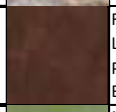
5.3.3 Características perceptivas:

El operador mediante la observación de la coloración de los cuerpos de agua, la presencia o no de sobrenadantes como macrófitas, residuos sólidos, espumas y otros, así como la generación de olores ofensivos, determina sí el licor de mezcla (agua residual en tratamiento + lodos activados) están o no acorde con lo esperado por el tratamiento.

Las condiciones de color del licor de mezcla para reactores SBR están dadas por la tabla de colores y observaciones, a continuación expuesta. En la misma tabla, aparecen situaciones operativas atípicas pero que pueden presentarse en los reactores (Tabla 19,

anexa a continuación). Dado caso que el operador al realizar el seguimiento de las características perceptivas encuentre algo atípico, debe informar inmediatamente al supervisor del sistema, para tomar soluciones frente la situación descrita.

Tabla 18. Características perceptivas.

SBR - REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIAL				
VALORACIÓN	**COLOR**		**CARACTERISTICAS**	**MEDIDAS DE ACCION**
1	Café lechoso		Buen funcionamiento reactores Concentraciones de oxígeno disuelo óptimas Buen mezclado del agua en tratamiento Lodos jovenes	Observación diaria. Mantenimiento taludes. Mantenimiento equipos aireadores. Medición sólidos sedimentables (diario)
2	Marrón oscuro		Falta de aireación - falta de mezcla Lodos muy viejos en el reactor Presencia de olores fuertes Bajas concentraciones de oxígeno disuelto	Iniciar mezclado del agua residual Realizar purga de lodos
3	Verde - grisáseo		Mal funcionamiento del sistema de aireación Aireación parada total o parcialmente Lodos muy viejos en el reactor Bajas concentraciones de oxígeno disuelto Presencia de olores fuertes / colonias de hongos en la superficie del agua	Informar para toma de decisiones. Reparar equipos aireadores. Realizar purga de lodos

Fuente: ESPUCAL E.S.P.

5.3.4 Verificación del componente hidráulico

Consiste en la supervisión directa y continua de todo el sistema de tratamiento, con el objetivo de obtener un funcionamiento óptimo en las unidades hidráulicas que componen los procesos físicos y biológicos de la PTAR.

5.4 OTRAS LABORES DE OPERACIÓN, POR PARTE DEL EQUIPO DE SOPORTE TECNICO.

5.4.1 Toma de parámetros in situ.

Dado que el sistema con reactores SBR depende de grupos de microorganismos, primordialmente bacterias filamentosas, hongos y protozoos, que se alimentan con los materiales orgánicos y sólidos suspendidos contenidos en el agua residual; semanalmente se monitorean las condiciones y/o características del agua entrante (afluente) y saliente (efluente), con el fin garantizar su supervivencia en los cuerpos de agua depuradores.

Dichas características son llamados parámetros de control y comprenden pH, conductividad y temperatura del agua residual. Estos parámetros son medidos por el Tecnólogo supervisor del sistema, con el fin de determinar las condiciones en que las ingresa (afluente) y sale (efluente) el agua residual.

Tabla 19. Labores de los supervisores del sistema para toma de parámetros *in situ*.

ÍTEM	ACTIVIDAD	ACCIÓN
1	Utilizar los elementos de protección personal.	Utilizar los EPP que se necesitan para realizar la labor y así evitar cualquier riesgo a la salud.
2	Alistar herramientas, elementos y equipos. Ajuste y verificación de equipos.	Se debe tener a la mano todos los elementos que se van a utilizar durante la actividad (baldes, equipos, toallitas desechables). Sí se emplea multiparámetros u otro equipo de medición, debe verificarse y ajustarse antes y después de la medición de parámetros, siguiendo lo estipulado por el proveedor. Igualmente, los buffer y soluciones deben ser las recomendadas por el proveedor.
3	Realizar purga al balde para toma de muestra.	Antes de tomar la muestra, es necesario purgar el balde, esto es, lavar dos o tres veces el recipiente, con el agua que se va a recolectar.
4	Toma de parámetros.	El agua de muestra debe recogerse en un balde, previamente purgado, ubicando la boca en sentido contrario al flujo. Sí el punto de toma de muestra es reactor SBR u otro sistema que utilice tratamiento con lodos activados, deben estar operando los equipos aireadores en el momento de la toma de muestra.

5	Registro de los datos	Los datos de los parámetros *in situ*, deben anotarse en el formato de medición de control (F-EGE- 006). Dado caso que se encuentre alguna novedad durante la toma de parámetros *in situ*, debe reportarse al superior y anotarse en el libro de operaciones o bitácora, siguiendo lo estipulado en el instructivo para dicha labor.

5.4.2 Toma de muestras:

Como se mencionó anteriormente, el operador dependiendo del TDH estipulado para el sistema, en este caso de 1 día, toma las muestras puntuales del agua del afluente y del agua del efluente.

El tecnólogo supervisor de la planta, es el encargado de la composición, toma de muestras puntuales para los otros analitos, preservación, conservación, transporte y entrega de las muestras.

Para mayor comprensión, a continuación se exponen algunas definiciones importantes para la toma de muestras.

Muestras Puntuales

Son muestra simples tomadas en un solo punto y en un solo momento del día. Los analitos que requieren muestras puntuales son: fósforo total, OD, nitrógeno como nitratos, sulfuros, sulfatos y recuento bacteriológico (coliformes totales y fecales).

Las muestras de OD y sulfuros deben ser preservadas siguiendo las NTC estipuladas para este fin.

Muestras Compuestas

A diferencia de las muestras puntuales, estas muestras proporcionan información sobre la media diaria de las variables que se analicen.

Para tomar una muestra compuesta hay que combinar varias muestras puntuales tomadas a diferentes horas del día, mezclándolas en proporción directa al caudal que representan.

Aunque este procedimiento de toma de muestras es mucho más tedioso que las muestras puntuales, es la única forma de conseguir información válida sobre algunos aspectos que se llevan a cabo en las aguas residuales. Si se toman únicamente muestras puntuales se corre el riesgo de detectar máximos o mínimos que no son representativos de la marcha real de la instalación, y todas las evaluaciones basadas en ellos serán necesariamente erróneas.

El cálculo de las alícuotas para una muestra compuesta se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Vm = \frac{Qi * Vmc}{Qp * N}$$

Donde:

Vm	=	Volumen requerido de la muestra puntual (ml).
Qi	=	Caudal de la muestra puntual (m^3/h, muestra puntual).
Vmc	=	Volumen requerido de la muestra compuesta (1000 ml).
Qp	=	Caudal promedio final (m^3/h).
N	=	Número de muestras sencillas o simples.

Las muestras son llevadas al Laboratorio Ambiental de la CAR, donde realizan los respectivos análisis químicos y biológicos. De los reportes entregados por el laboratorio, se establecen las eficiencias de remoción y consecuentemente, el funcionamiento de la PTAR.

La tabla 21 resume las actividades que se deben ejecutar en cuanto a toma, preservación, conservación y transporte de muestras de agua, se refiere.

Tabla 20. Actividades para toma de muestras, por parte de los supervisores del sistema.

ÍTEM	ACTIVIDAD	ACCIÓN
1	Utilizar los elementos de protección personal.	Utilizar los EPP que se necesitan para realizar la labor y así evitar cualquier riesgo a la salud.
2	Alistar herramientas, elementos y rotular frascos de muestra.	Se debe tener a la mano todas las herramientas y elementos que se van a utilizar durante la actividad (baldes, frascos, reactivos, beaker, etc.). Así mismo, deben rotularse los frascos con la fecha, hora, lugar y punto de muestreo.
3	Realizar purga a los envases y baldes para toma de muestra.	Antes de recolectar las muestras, es necesario purgar los recipientes, esto es, lavar dos o tres veces los recipientes con el agua que se va a recolectar. Se debe tener en cuenta que algunos recipientes no se deben purgar, ya que dentro de ellos va un agente preservante, tienen previamente un lavado especial o dicha acción interfiere con la representabilidad de la muestra.
4	Tomar de muestras	Para las muestras puntuales, el agua de muestra debe recogerse en un balde, previamente purgado, ubicando la boca en sentido contrario al flujo. Para las muestras compuestas, se debe determinar la alícuota dependiendo del caudal en el momento de la toma de la muestra puntual, hasta completar 1000 ml de muestra.
5	Envasar muestra	Las muestras deben envasarse en el frasco dependiendo parámetro. Para las muestras de DBO y DQO, se debe envasar en recipientes plásticos de 1000 ml, recolectar la muestra lentamente, evitando el burbujeo. El recipiente debe llenarse totalmente y ajustar la tapa. Evitar la agitación de la muestra y la exposición prolongada a la atmósfera.

		Sí la muestra se envasa en botella de Winkler (OD, sulfuros), debe tomarse a contracorriente, recolectando la muestra cuidadosa y lentamente, evitando el burbujeo, evitando atrapar o disolver el oxígeno atmosférico. El recipiente debe llenarse totalmente y taparse, para inmediatamente preservar. En el caso de vidrio esterilizado o lavado previamente (bacteriológico / fósforo), se debe introducir el recipiente cerrado dentro del agua, girar despacio la tapa hasta que permita la entrada de agua y llenarlo hasta ¾ partes de su capacidad. Este proceso se debe realizar sin sacar el recipiente del agua.
6	Tomar parámetros *in situ*.	Durante el muestreo, deben tomarse de una muestra puntual, parámetros *in situ* como conductividad, pH y temperatura. Para tal fin se emplea un equipo multiparamétrico previamente calibrado, según lo determinado en el instructivo para toma de parámetros *in situ* o en campo.
7	Preservar muestra	Se deben preservar las muestras destinadas para el análisis de Oxígeno Disuelto y Sulfuros, de la forma estipulada. Lo anterior con el fin de garantizar la inalterabilidad del agua muestreada.
8	Conservar muestra	En el formato de muestreo (F-EGEA-002), se anotar las alícuotas para composición de muestras Tan pronto se recoge la primera muestra puntual, deben conservarse con abundante hielo en la nevera y tapar la misma. Deben permanecer en la nevera hasta el momento de la composición.

9	Transportar y entregar al laboratorio las muestra	Durante el muestreo, una vez tomada la primera muestra y hasta el lugar de entrega (laboratorio), las neveras, los recipientes con las muestras y los reactivos deben permanecer siempre en un sitio donde no reciban la luz directa del sol o de cualquier otra fuente de calor. Dichas precauciones deben tenerse en cuenta hasta el momento de entrega de las muestras al laboratorio. El procedimiento para la entrega – recepción de las mismas, lo estipula el propio laboratorio encargado de los análisis.
10	Registrar de la información.	La información recolectada en campo debe anotarse en el formato de toma de muestras y captura de datos suministrado por el laboratorio encargado del análisis de las muestras. Los datos recogidos en campo ó parámetros *in situ*, además de registrarse en el formato para toma de muestras y captura mencionado anteriormente, deben anotarse en el formato de medición de control (F-EGE- 006)

5.5 POBLACIÓN MICROBIANA HABITUAL EN LODOS ACTIVADOS.

Las bacterias, son organismos unicelulares, simples y sin color, que utilizan los nutrientes para su propia reproducción sin la necesidad de energía solar. Son bio-reductores y su papel ecológico indispensable para la degradación de materia orgánica pues permite la estabilización de residuos orgánicos existentes en las plantas de tratamiento. Son responsables de el crecimiento de los lodos activos en plantas domesticas de tratamiento de aguas. El principal grupo de bacterias encontradas en los lodos activados son las bacterias filamentosas o que generan filamentos.

En los tratamientos aerobios encontraremos bacterias aerobias y facultativas, mientras que en los tratamientos anaerobios encontraremos bacterias anaerobias y facultativas. Su tamaño oscila entre0.5 y 5mm.

Una característica importante de algunas bacterias es su capacidad de flocular. Los flóculos que se forman están constituidos por bacterias unidas unas a otras y también por partículas orgánicas e inorgánicas. Gracias a la formación de estos flóculos, los fangos sedimentarán mejor y producirán un efluente final más transparente y de mejor calidad.

Además de bacterias, existen en los lodos activos, un gran número de especies de protozoos como flagelos-, ciliados- y amebas. Los protozoos son organismos de una célula que puede nutrirse de materia orgánica y bacterias. Nematodos o rotíferos se clasifican entre los organismos multicelulares[4].

En la tabla 22 se presenta un resumen de los principales microorganismos presentes en aguas residuales en tratamiento biológico, con algunas de sus características y el rango óptimo de pH para su desarrollo.

Tabla 21. Microorganismos presentes en aguas residuales en tratamiento.

MICROORGANISMO	DESCRIPCION	RANGO de pH - OPTIMO DESARROLLO
PROCARIOTES	*Unicelulares*	
Bacterias	Anaerobias, aerobiasm facultativas. Asimiladoras de MO, N, P, entre otros elementos y compuestos.	6,5 - 7,5. Aunque toleran y se adaptan a condiciones de acidez y basicidad.
EUCARIOTES	*Multicelulares*	
Hongos	Protistas, heterótrofos. No fotosintéticos. Usualmente aerobios estrictos.	Prefieren pH entre 4 - 6,5, pero toleran pH bajos.
Protozoos	Protistas móviles, microscópicos. Anaerobios facultativos. Bacteriófagos y asimiladores de restos de MO	6 - 8, pero al encontrarse en asociación con algas, toleran pH básicos.
Rotíferos	Aeróbios, heterótrofos, bacteriófagos	pH neutro (6 - 8), con tolerancia a pH básicos
PROCARIOTES/EUCARIOTES		
Algas	Protistas, autótrofas, fotosintetizadoras.	pH de neutro a básico (desde 6 en adelante)

Fuente: Vascones, José. UBA. 2000

[4]Vilaseca. M. Observación microscópica de fangos activados en los tratamientos de depuración biológica. Boletín INTEXSER (U.P.C.) 2001. Chile. http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/1726/1/TREBALL8.pdf

5.6 COMPONENTE ELÉCTRICO INSPECCIÓN Y REPARACIÓN.

Los aireadores deben ser inspeccionados periódicamente, de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Si deben realizarse reparaciones sobre estos dispositivos, el aireador debe ser retirado del reactor. Es conveniente tener dentro del inventario de la PTAR aireadores de remplazo que operen durante estos procedimientos rutinarios de reparación.

Como en todos los casos de manejo e instalaciones de equipos, el operador debe tener a mano una copia del libro de instrucciones del fabricante y estar familiarizado con los equipos mecánicos y eléctricos que utiliza para que las operaciones de emergencia puedan hacerse rápida y correctamente.

Compuertas y Válvulas

- Cada seis meses se debe hacer un vaciado, limpieza manual completa y lavado de las estructuras y todos los elementos interiores, este período se disminuirá de acuerdo con la calidad del agua que se está tratando y la posible sobrecarga de la PTAR.
- Se debe realizar semestralmente una inspección minuciosa de las válvulas y compuertas y reparación si fuese necesario.
- Cuando se realicen inspecciones se deben chequear entre otros los siguientes componentes: Empaquetaduras de válvulas, pernos y tuercas, compuertas de válvula, pintura anticorrosiva, vástagos.
- Si se detecta ruidos extraños se debe lubricar las compuertas o válvulas, aplicando aceite en el sitio y pieza donde se percibe el ruido.

Componente Eléctrico

Los componentes eléctricos deberán ser revisados mínimo cada tres meses así estos estén funcionando correctamente.

Como en todos los casos de manejo e instalaciones, (rosetas, tomacorrientes, interruptores, bombillos, luminarias externas) y estar familiarizado con los sistemas eléctricos que utiliza para que las operaciones de emergencia puedan hacerse rápida y correctamente.

6 FORMATOS ESTANDARIZADOS PARA EL SISTEMA.

Tal y como se mencionaban en las tablas que competen tanto al mantenimiento como a la operación de los componentes del sistema, cada una de las labores ejecutadas por el operador deben ser registradas en los formatos estandarizados para el sistema y en la bitácora que es el libro de registros de la operación y de las labores.

Dichos formatos se encuentran anexos al presente documento.

7 GLOSARIO

Afluente: Agua residual que ingresa a la planta de tratamiento de aguas residuales, o algún proceso de tratamiento.

Aforo: Es la medida del caudal, o de la cantidad de agua que pasa en un determinado tiempo por algún sistema, siendo las formas más comunes de aforar, las volumétricas. Los instrumentos o estructuras empleadas para determinar el caudal, deben ser previamente calibrados. Estructuras de aforo comunes: canaleta Parshall, vertedero sutro, triangular 90°

Agua residual tratada: Agua que fluye de una planta de tratamiento de aguas residuales. Las aguas tratadas son más seguras que las aguas residuales no tratadas y se pueden utilizar para irrigar las cosechas, pero no son adecuadas para el consumo humano.

Aguas residuales: Agua que contiene desechos humanos y/o proveniente de otra actividad (industriales, comerciales). Para el caso puntual de la PTAR La Calera, son aguas residuales domiciliarias mezcladas con aguas lluvias, por lo tanto los principales contenidos son materia orgánica y sólidos en solución.

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

A/M: La proporción entre la cantidad de microorganismos activos y el alimento disponible. Parámetro decisivo en el control del proceso. Si esta proporción no es equilibrada, aparecerán serios problemas en planta. El número de organismos aumenta también al aumentar la carga de materia orgánica (alimento) y el tiempo de permanencia en el zanjón de oxidación. El operador deberá eliminar el exceso de microorganismos (fangos en exceso o purga de fangos).

Ambiente aerobio: Zona o lugar donde hay suficiente oxígeno disuelto en el agua.

Ambiente anaerobio: Zona o lugar donde no hay oxígeno disuelto en el agua. Los microorganismos anaerobios usualmente toman para su respiración azufre o nitrógeno.

Análisis: Examen del agua, agua residual o lodos, efectuado por un laboratorio.

Biodegradación: Degradación de la materia contaminante por acción de microorganismos sobre el suelo, aire, cuerpos de agua receptores o procesos de tratamiento de aguas residuales.

Bombas de impulsión: Son maquinas hidráulicas cuyo objetivo es convertir la energía mecánica de rotación en energía cinética o potencial del fluido dentro de un sistema. Siendo un dispositivo empleado para elevar, transferir el agua residual en estaciones de bombeo y Plantas de tratamiento de aguas residuales que requieran de estos equipos.

Bacterias: Microorganismo unicelular, pueden ser heterótrofas o autótrofas.Bacterias autótrofas – fotosintéticas – aerobias - facultativas: capaces de sintetizar las substancias orgánicas a partir de las minerales. -Fotosíntesis: empleo de la energía de las radiaciones luminosas, gracias a ciertos pigmentos que poseen, para obtención de de energía. Bacterias anaeorobias - quimiosintetizantes: Obtienen la energía necesaria a partir de reacciones químicas de oxidación, como las bacterias nitrificantes del suelo y las sulfobacterias de las aguas sulfurosas.

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).

Combinado: Sistema de alcantarillado que recibe aguas lluvias y aguas residuales de origen doméstico y/o industrial.

Concentración: Cantidad de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido contenedor.

Cribado: Conjunto de rejillas barras paralelas de separación uniforme (2 a 4cm), utilizado para remover residuos sólidos. Es la empleada en el tratamiento preliminar.

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

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

Efluente: Líquido que sale de un proceso de tratamiento. Agua residual tratada.

Emisario: Canal o tubería que recibe las aguas residuales de un sistema de alcantarillado, las conduce a una planta de tratamiento, o de una planta de tratamientohasta el punto de disposición final.

Espuma: Impurezas flotantes que se encuentran sobre la superficie del agua, producto del contacto de tensoactivos (compuesto principal de detergentes) con el oxígeno a grandes velocidades o por choque.

***In situ*:** En el sitio.

Lodo: Emergente de lagunas: Mezcla de microorganismos, sólidos en suspensión y materia orgánica, presentes en las profundidades de las lagunas (zona anaeróbia) que por cambios de temperatura ascienden hacia la superficie lagunar.

Muestra compuesta: Mezcla de varias muestras o alícuotas instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos. La mezcla se hace teniéndolos caudales individuales de cada muestra puntual o instantánea.

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.

Paso directo (By-Pass o alivio): Conjunto de tuberías, canales, válvulas y compuertas que permiten desvío del agua residual de un proceso o planta de tratamiento en condiciones de emergencia o de mantenimiento correctivo.

PTAR: Planta de Tratamiento de Agua Residual. Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales. Sistema diseñado y construido para la depuración de aguas residuales.

Pretratamiento o tratamiento preliminar: Procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario. Su principal objetivo es hacer remoción de residuos sólidos y arenas.

Tratamiento biológico: Procesos de tratamiento en los cuales se emplea la acción natural de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica y los sólidos disueltos

presentes en las aguas residuales. Usualmente se utilizan para la remoción de material orgánico disuelto.

Tratamiento primario: Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO_5.

Tratamiento secundario: Es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos.

Válvulas: Son accesorios que permiten controlar la dosis de químicos o la regulación de caudales en tuberías y/o estructuras.

Vertederos: Son dispositivos que permiten determinar el caudal. Poseen una ecuación general que depende de la gravedad, de su geometría, de su espesor de pared. La variable independiente será siempre la altura de la lámina de agua sobre el nivel de referencia. De esta forma cualquier vertedero puede calibrarse mediante una curva de calibración del mismo con base en diferentes alturas de la lámina de agua de los diferentes caudales.

8 ANEXOS

FORMATOS DE OPERACIÓN ESPUCAL E.S.P. (MAESTRO DOCUMENTOS)