

**EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
LA MARINA**

RITA ALEXANDRA ZAMORA MARTINEZ

TESIS

**DIRECTOR: ING. JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS
DIRECTOR DE LA ESPECIALIZACIÓN EN SANEAMIENTO AMBIENTAL**

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON ÉNFASIS EN RECURSOS
HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE**

BOGOTÁ D.C.

2.015

Nota de aceptación:

Firma del director del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C., 30 de noviembre de 2.015

Dedicatoria

Al Dios de Israel

Por haberme permitido llegar a este punto, por haberme levantado cuando he desfallecido, haberme dado a mi familia, salud, recursos y la sabiduría para lograr mis objetivos, le agradezco por su infinita bondad y amor.

A mis padres

Por ser el apoyo incondicional, por su motivación y cada consejo valioso, que me impulsa cada día a ser mejor en cada área de mi vida.

Agradecimientos

A mi familia

Por ser el apoyo para culminar mis estudios, por cada palabra de aliento y de motivación, que me ayudó a tomar impulso.

A mis profesores

Por compartir conmigo un poco de su valiosa experiencia y de todo su conocimiento, al Ingeniero Jairo Romero por ayudarme a culminar este trabajo y este sueño.

A mis jefes

Por el tiempo que generosamente me permitían tener para destinarle a cumplir este objetivo.

A Empresas públicas de Armenia en cabeza de la ingeniera María Teresa Ramírez.

Por el permiso que me otorgaron y la confianza que pusieron en mí, para que realizara esta tesis en su PTAR y permitirme tomar toda la información necesaria.

CONTENIDO

	Pág.
Introducción.....	16
1 Planta de tratamiento de aguas residuales La Marina.....	17
1.1 Tratamiento primario.....	19
1.1.1 Cribado.....	19
1.1.1.1 Rejilla gruesa.....	19
1.1.1.2 Canal vertedero.....	20
1.1.1.3 Compuerta rectangular y rejilla fina.....	21
1.1.2 Compuertas rectangulares y canales desarenadores.....	24
1.1.3 Vertedero Sutro y rampa de transición.....	26
1.1.4 Trampa de grasas.....	28
1.1.5 Tanque de igualación y aireador.....	30
1.1.6 Estación de bombeo.....	33
1.1.6.1 Brazo grúa.....	34
1.1.7 Conducción desde la estación de bombeo hasta los desarenadores aireados.....	34
1.1.8 Desarenadores aireados.....	39
1.1.9 Tamiz filtrante autolimpiante.....	44
1.1.10 Sinfín compactador helicoidal.....	46
1.2 Tratamiento biológico.....	48
1.2.1 Filtros percoladores.....	48
1.2.2 Clarificador.....	52
1.3 Tratamiento de lodos.....	56

2	Parámetros de diseño.....	57
2.1	Cribado.....	59
2.1.1	Rejilla gruesa.....	59
2.1.1.1	Eficiencia.....	59
2.1.1.2	Velocidad mínima entre barras.....	59
2.1.1.3	Máxima pérdida de carga.....	59
2.1.2	Rejilla fina.....	60
2.1.2.1	Eficiencia.....	60
2.1.2.2	Altura de la lámina de agua.....	60
2.1.2.3	Velocidad entre barras.....	60
2.1.2.4	Máxima pérdida de carga.....	61
2.2	Canales desarenadores.....	61
2.2.1	Área y carga superficial.....	62
2.2.2	Velocidad de diseño y tiempo de retención.....	62
2.2.3	Sección de control.....	62
2.3	Trampa de grasas.....	64
2.3.1	Área mínima y área superficial.....	65
2.3.2	Carga superficial.....	65
2.3.3	Volumen y tiempo de retención.....	65
2.4	Tanque de igualación.....	66
2.4.1	Volumen y tiempo de retención.....	66
2.5	Desarenadores aireados tipo vórtice.....	67
2.5.1	Volumen y tiempo de retención.....	68
2.5.2	Área y carga superficial.....	68

2.6 Filtros percoladores.....	69
2.6.1 Constante de tratabilidad de la temperatura de diseño	69
2.6.2 Carga orgánica.....	69
2.6.3 DBO del afluente.....	70
2.6.4 Carga hidráulica.....	70
2.6.5 Revisión del área.....	70
2.6.6 Carga orgánica volumétrica.....	71
2.6.7 Eficiencia de remoción de DBO.....	71
2.6.8 Ventanas de ventilación.....	71
2.6.9 Distribución de caudal.....	71
2.6.9.1 Sistema de desagües inferiores.....	72
2.7 Clarificador.....	74
2.7.1 Carga superficial.....	74
2.7.2 Volumen y tiempo de retención.....	74
2.7.3 Tasa másica de carga.....	75
2.7.4 Lodos producidos.....	75
2.8 Tratamiento de lodos.....	77
2.8.1 Espesador.....	78
2.8.1.1 Lodos crudo.....	78
2.8.1.2 Tasa de desbordamiento superficial.....	78
2.8.1.3 Tasa de carga másica.....	78
2.8.1.4 Tiempo de retención.....	78

2.8.1.5 Lodos producidos.....	78
2.8.2 Digestor primario.....	79
2.8.2.1 Volumen y tiempo de retención.....	79
2.8.2.2 Tasa de carga volumétrica de sólidos volátiles.....	80
2.8.2.3 Lodos producidos.....	80
2.8.2.4 Sobrenadantes.....	80
2.8.3 Digestor secundario.....	81
2.8.3.1 Volumen y tiempo de retención	81
2.8.3.2 Tasa de carga volumétrica de sólidos volátiles.....	81
2.8.3.3 Lodos producidos.....	82
2.8.3.4 Sobrenadantes.....	82
2.8.4 Lechos de secado.....	82
2.8.4.1 Geometría.....	83
2.8.4.2 Tasa de carga másica.....	83
3 Resultados de operación.....	84
3.1 Muestreo.....	84
3.2 Mediciones in-situ.....	86
3.2.1 Pruebas realizadas el 15 de agosto de 2.015.....	86
3.2.2 Pruebas realizadas el 4 de septiembre de 2.015.....	87
3.2.3 Promedio de pruebas realizadas el 15 de agosto y 4 de septiembre.....	88
3.2.3.1 Coliformes fecales.....	89
3.2.3.2 Coliformes totales.....	89
3.2.3.3 DBO.....	89

3.2.3.4 DQO.....	90
3.2.3.5 Grasa y aceites.....	90
3.2.3.6 Nitrógeno.....	90
3.2.3.6.1 Nitrógeno amoniacal.....	91
3.2.3.6.2 Nitratos.....	91
3.2.3.6.3 Nitritos.....	91
3.2.3.7 Sólidos disueltos totales.....	92
3.2.3.8 Sólidos suspendidos totales.....	92
3.2.3.9 Tensoactivos o detergentes.....	92
3.2.3.10 Turbiedad.....	93
3.2.3.11 Caudal.....	93
3.2.3.12 pH.....	94
3.2.3.13 Temperatura.....	95
3.2.3.14 Sólidos sedimentables.....	97
3.2.3.15 Conductividad.....	98
3.2.3.16 Oxígeno disuelto.....	100
4 Recomendaciones.....	103
4.1 Estructura preliminar.....	103
4.1.1 Cribado.....	103
4.1.2 Canales desarenadores.....	104
4.1.3 Trampa de grasas.....	106
4.1.4 Tanque de igualación.....	108

4.1.5 Desarenadores aireados.....	111
4.2 Tratamiento secundario.....	112
4.2.1 Filtros percoladores.....	112
4.2.2 Clarificadores.....	115
4.3 Tratamiento de lodos.....	115
4.3.1 Espesadores.....	115
4.3.2 Digestor primario y secundario.....	115
4.3.3 Lechos de secado de lodos.....	116
5 Referencias.....	119

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Despiece de Compuerta rectangular.....	23
Tabla 2. Descripción del aireador a chorro sumergible.....	32
Tabla 3. Despiece de tubería desde tanque de igualación hasta módulo 2....	37
Tabla 4. Descripción de partes del clasificador de arenas.....	44
Tabla 5. Partes del tamiz filtrante autolimpiante.....	45
Tabla 6. Partes del sinfín compactador helicoidal.....	47
Tabla 7. Partes del brazo giratorio y de las paletas barredoras.....	55
Tabla 8. Parámetros de diseño de la rejilla gruesa limpiada manualmente....	60
Tabla 9. Parámetros de diseño de la rejilla fina limpiada manualmente.....	61
Tabla 10. Parámetros de diseño de los canales desarenadores.....	64
Tabla 11. Parámetros de diseño de las trampas de grasas.....	66
Tabla 12. Parámetros de diseño del tanque de igualación.....	67
Tabla 13. Parámetros de diseño de los desarenadores aireados.....	68
Tabla 14. Parámetros de diseño del filtro percolador	72
Tabla 15. Parámetros de diseño del clarificador.....	76
Tabla 16. Parámetros de diseño del espesador.....	79
Tabla 17. Parámetros de diseño del digestor primario.....	80
Tabla 18. Parámetros de diseño del digestor secundario.....	82
Tabla 19. Parámetros de diseño de los lechos de secado.....	83
Tabla 20. Comparación de resultados con resolución 0631 de 2.015.....	86
Tabla 21. Comparación de resultados con resolución 0631 de 2.015.....	87

Tabla 22. Comparación de resultados con resolución 0631 de 2.015.....	88
Tabla 23. Caudal afluente (5 de agosto de 2.015).....	93
Tabla 24. Datos de pH (5 de agosto de 2.015).....	94
Tabla 25. Datos de temperatura (5 de agosto de 2.015).....	96
Tabla 26. Datos de sólidos sedimentables (5 de agosto de 2.015).....	97
Tabla 27. Datos de conductividad (5 de agosto de 2.015).....	99
Tabla 28. Datos de oxígeno disuelto (5 de agosto de 2.015).....	100

LISTA DE FOTOS

Foto1. Entrada del colector a la estructura de llegada.....	19
Foto 2. Rejilla gruesa en la estructura de llegada.....	20
Foto 3. Canal vertedero y estructura de aliviadero.....	21
Foto 4. Compuerta rectangular.....	22
Foto 5. Rejilla fina.....	22
Foto 6. Entrada a desarenadores y compuertas rectangulares.....	24
Foto 7. Canales desarenadores.....	25
Foto 8. Lechos de secado de arenas y grasas.....	25
Foto 9. Lechos de secado de arenas y grasas.....	26
Foto 10. Vertederos Sutro.....	26
Foto 11. Rampa de transición.....	27
Foto 12. Trampas de grasas.....	28
Foto 13. Canal para recolección ubicado en la trampa de grasas.....	29
Foto 14. Taque de igualación.....	30
Foto 15. Tanque de igualación y Aireador.....	31
Foto 16. Módulo 2.....	33
Foto 17. Estación de bombeo.....	33
Foto 18. Brazo grúa para izaje de bombas.....	34
Foto 19. Tubería de llegada a los Desarenadores Aireados.....	39
Foto 20. Desarenadores aireados.....	40
Foto 21. Desarenadores Aireados.....	41
Foto 22. Desarenador aireado – Agitador de aire comprimido.....	41

Foto 23. Salida hacia el clasificador de arenas.....	42
Foto 24. Clasificador de arenas.....	43
Foto 25. Tamiz filtrante autolimpiante y sinfín compactador helicoidal.....	46
Foto 26. Sinfín compactador helicoidal.....	48
Foto 27. Salida del agua del vertedero Sutro a los filtros percoladores.....	48
Foto 28. Tubería de 10” que conduce el agua a Filtros Percoladores.....	49
Foto 29. Llegada de la tubería a los Filtros Percoladores.....	49
Foto 30. Filtro Percolador.....	50
Foto 31. Rosetón en Polipropileno virgen.....	50
Foto 32. Columnas de soporte del lecho filtrante.....	51
Foto 33. Cámara de salida hacia el clarificador.....	52
Foto 34. Cámara de salida del agua hacia el clarificador.....	52
Foto 35. Sistema de calentamiento de lodos.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo planta de tratamiento de aguas residuales La Marina.....	18
Figura 2. Compuerta rectangular.....	23
Figura 3. Perfil rampa de transición, trampa de grasas y tanque de igualación.....	27
Figura 4. Sistema de aletas barredoras de grasas.....	28
Figura 5. Salida de la trampa de grasas.....	30
Figura 6. Aireador a chorro sumergible auto aspirante.....	32
Figura 7. Despiece de tubería desde estación de bombeo hasta desarenadores Aireados – primera parte.....	35
Figura 8. Despiece de tubería desde estación de bombeo hasta desarenadores aireados – segunda parte.....	36
Figura 9. Desarenadores Aireados, cámara, canal recto y vertederos Sutro.....	42
Figura 10. Clasificador de arenas.....	44
Figura 11. Tamiz filtrante autolimpiante.....	45
Figura 12. Sinfín compactador helicoidal.....	47
Figura 13. Estructura de soporte del lecho filtrante.....	51
Figura 14. Clarificador y brazo giratorio.....	53
Figura 15. Conjunto brazo y paletas barredoras.....	54
Figura 16. Tanque Digestor primario.....	57
Figura 17. Balance hídrico de la PTAR La Marina.....	58
Figura 18. Diagrama de flujo de tratamiento de lodos.....	77
Figura 19. Ubicación de puntos de muestreo en diagrama de flujo.....	85
Figura 20. Variación de caudal en el Tiempo (5 de agosto de 2.015).....	93

Figura 21. pH en el afluente en la PTAR La Marina.....	94
Figura 22. pH en el efluente en la PTAR La Marina.....	95
Figura 23. Temperatura en el afluente de la PTAR La Marina.....	96
Figura 24. Temperatura en el efluente de la PTAR La Marina.....	97
Figura 25. Sólidos sedimentables en el afluente de la PTAR La Marina.....	98
Figura 26. Sólidos sedimentables en el efluente de la PTAR La Marina.....	98
Figura 27. Conductividad en el afluente de la PTAR La Marina.....	99
Figura 28. Conductividad en el efluente de la PTAR La Marina.....	100
Figura 29. Oxígeno disuelto en el afluente de la PTAR La Marina.....	101
Figura 30. Oxígeno disuelto en el efluente de la PTAR La Marina.....	102
Figura 31. Lechos de secado de arenas.....	105
Figura 32. Lechos de secado de grasas.....	107
Figura 33. Tubo de llegada a la cámara de recirculación.....	108
Figura 34. Vertedero rectangular en cámara de recirculación.....	110
Figura 35. Filtro percolador con ventilación inducida.....	113
Figura 36. Filtro percolador con ventilación inducida.....	114
Figura 37. Lechos de secado de lodos.....	118

INTRODUCCIÒN

En este trabajo se evalúa la configuración y operación del sistema de tratamiento de la PTAR La Marina.

En el primer capítulo se presenta una descripción de las estructuras y equipos que componen cada tratamiento empleado en la operación de la planta; en el segundo capítulo se muestran los cálculos de los parámetros de diseño de cada estructura, comparándolos con los valores sugeridos por el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2.000; en el tercer capítulo se presentan los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas en el afluente y en el efluente, así como la eficiencia en la operación de la planta y en el cuarto capítulo se realizan las recomendaciones pertinentes.

1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES LA MARINA

La planta de tratamiento de aguas residuales La Marina, está construida en un lote ubicado al sur de Armenia en la finca del mismo nombre, de propiedad de Empresas públicas de Armenia, fue diseñada para tratar las aguas residuales de origen doméstico, comercial, institucional e industrial del sur de Armenia en un proceso aerobio que incluye tratamientos primario, biológico y de lodos ⁽¹⁾.

Concebida para funcionar en 3 módulos, cada módulo con una capacidad de tratamiento de 142,58 L/s está conformado por ⁽²⁾:

- (2) Desarenadores aireados.
- (1) Criba automática.
- (2) Tornillos deshidratadores.
- (2) Filtros percoladores.
- (1) Clarificador.
- (1) Espesador.
- (1) Digestor primario.
- (1) Digestor secundario

Junto a otras estructuras complementarias para la operación entre las cuales se encuentran:

- (1) Estructura preliminar para el tratamiento primario.
- (1) Estación de bombeo para bombear el agua de la estructura preliminar a los desarenadores aireados.
- (2) Lechos de secado.
- (1) Edificio administrativo.
- (1) Auditorio.
- (1) Portería.
- Vías internas.

Esta planta se encuentra terminando la puesta en marcha en este momento.

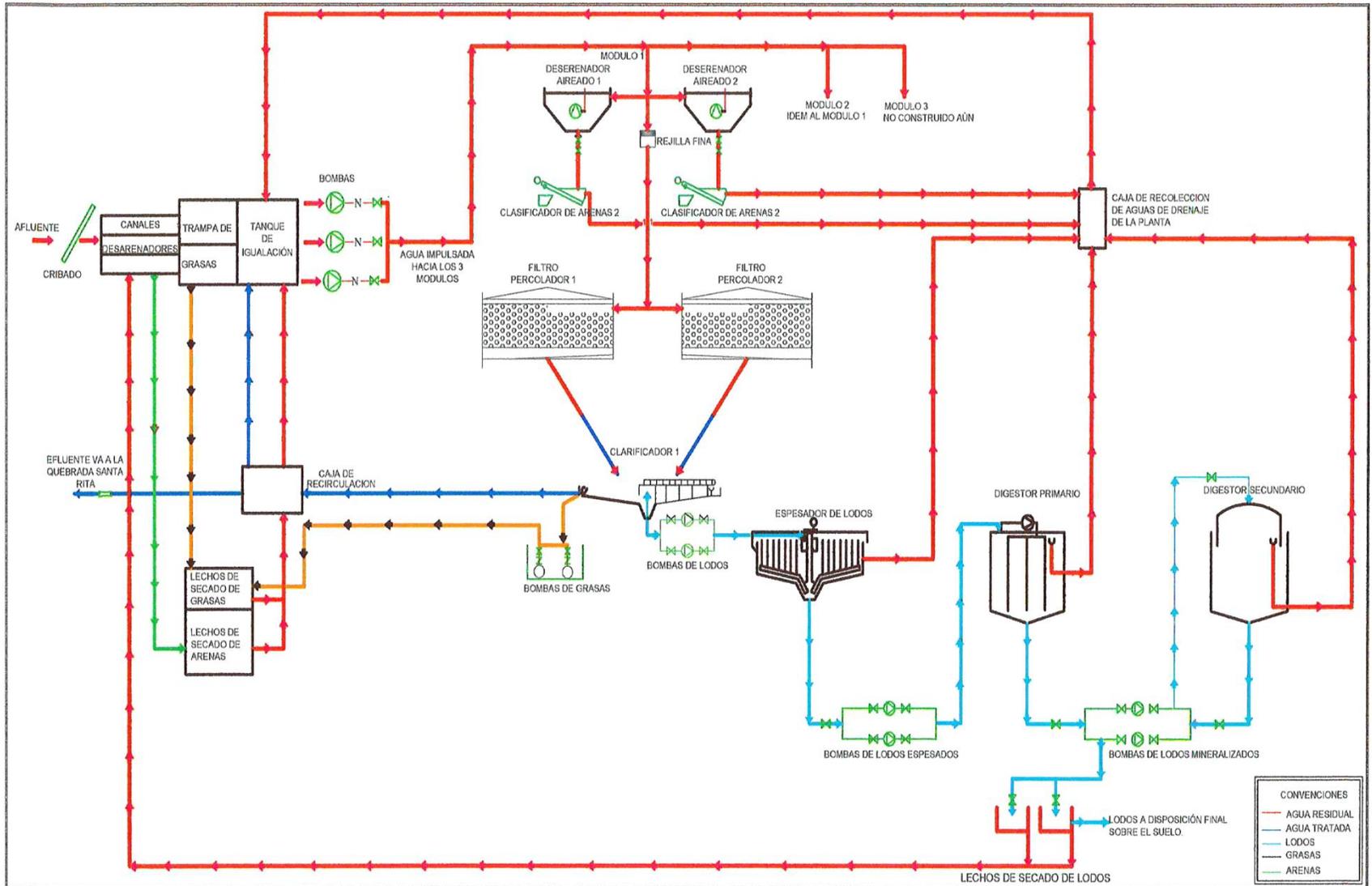


Figura 1. Diagrama de flujo planta de tratamiento de aguas residuales La Marina ⁽²⁾.

1.1 TRATAMIENTO PRIMARIO

En esta primera etapa del proceso, diseñada para tratar 427,74 L/s, se lleva a cabo el tratamiento físico de las aguas residuales, retiro de residuos sólidos, arenas, grasas y oxigenación del agua para garantizar las condiciones aerobias del tratamiento biológico. Para este tratamiento se construyeron las siguientes estructuras: cribado, canales desarenadores, rampa de transición, trampa de grasas, tanque de igualación, estación de bombeo y desarenadores aireados ⁽²⁾.

1.1.1 Cribado. Mediante el uso de las rejillas, las cuales tienen como función principal la retención de los sólidos más grandes con el fin de proteger la tubería, bombas, válvulas y equipos, durante la operación de la planta ⁽²⁾.

1.1.1.1 Rejilla gruesa. Ubicada en la estructura de llegada del colector en tubería PVC de 36", que entrega a la estructura de tratamiento preliminar, está conformada por 17 ángulos de acero inoxidable A 304 de 1 ¼" x 1 ¼" x 4 mm, con espacio libre entre ellos de 7,5 cm que ayudan a separar el material grueso del agua al pasar a través de la criba inclinada 60° con respecto a la horizontal.

La estructura de llegada corresponde a una caja en concreto reforzado de 1,90 m de ancho por 1,43 m de largo por 1,65 m de alto, los muros tienen en promedio un espesor de 30 cm.



Foto1. Entrada del Colector a la estructura de llegada



Foto 2. Rejilla gruesa en la estructura de llegada

1.1.1.2 Canal vertedero. Luego de atravesar la rejilla gruesa el agua es conducida a un canal vertedero de 6 m de longitud, en concreto reforzado con dos caras laterales de 1,47 m de altura, ancho libre de 1,20 m, suspendido en una estructura de aliviadero construida en concreto reforzado.

La estructura de aliviadero cumple la función de llevar al efluente caudales que superen el caudal de diseño de la planta de tratamiento, y cuenta con un ancho útil de 2,60 m, y doble altura: 1,77 m después de la rejilla gruesa y 2,60 m en la salida.

Los excesos se conducen hacia el efluente mediante una tubería PVC de 36”.



Foto 3. Canal vertedero y estructura de aliviadero

1.1.1.3 Compuerta rectangular y rejilla fina. Al final del canal vertedero se encuentra una compuerta de 1,47 m de altura por 1,20 m de ancho que controla la entrada del agua a la planta, dicha compuerta está fabricada en acero inoxidable A 304 (ver figura 2).

Inmediatamente después de esta compuerta hay una rampa en concreto reforzado que conduce el agua a una rejilla fina de 1,20 m x 1,20 m inclinada 60° con respecto a la horizontal; dicha rejilla está fabricada en acero inoxidable A 304 y consta de 41 platinas de 1 ¼" x 4 mm con un espacio útil de 2,50 cm entre ellas y un marco en ángulo de acero inoxidable A 304 de 1 ¼" x 1 ¼" x 4 mm.



Foto 4. Compuerta rectangular



Foto 5. Rejilla fina

Detalle constructivo de las compuertas rectangulares en acero inoxidable A 304:

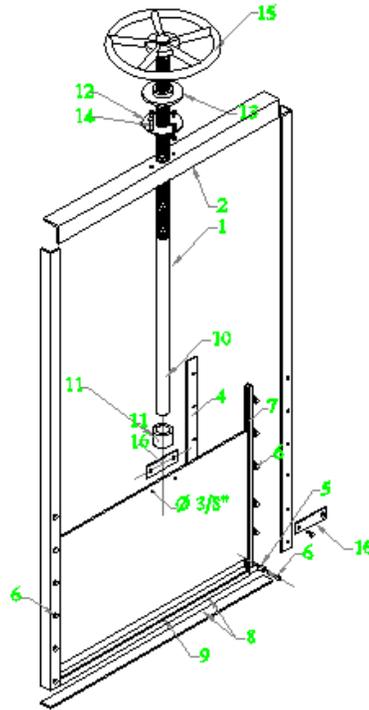


Figura 2. Compuerta rectangular

Tabla 1. Despiece de Compuerta rectangular ⁽²⁾

Ítem	Descripción
1	Cuerpo en ángulo de 1/4" x 2" x 1.200 mm en acero inoxidable.
2	Ángulo 3" x 1/4" x 450 mm en acero inoxidable.
3	Obturador en lámina de acero inoxidable de 6 mm de espesor.
4	Guías laterales en platinas de 1/4" x 2" en acero inoxidable.
5	Bujes de ajuste de 3/4" de diámetro en acero inoxidable.
6	Tornillo de 3/8" x 2", en acero inoxidable con doble tuerca para ajuste de bujes.
7	Sello en Ultrapol.
8	Platinas de refuerzo de 1/4" x 1" en acero inoxidable.
9	Neopreno para base de la compuerta.
10	Vástago de 1 1/4" en acero inoxidable, rosca cuadrada, 4 hilos por pulgada, L=0,90 m.
11	Buje para anclaje de vástago de 2" de diámetro en acero inoxidable.
12	Anclaje en acero al carbón de 2" de diámetro.
13	Tuerca en acero al carbón de 2" de diámetro.
14	Tornillos para anclaje de tuerca.
15	Volante en hierro fundido de 16" de diámetro.
16	Platina de anclaje, buje de 1 1/4" x 1" en acero inoxidable.

1.1.2 Compuertas rectangulares y canales desarenadores. Inmediatamente después de la rejilla fina se encuentra una ampliación en concreto reforzado que conduce el agua hacia tres canales desarenadores.

Antes de entrar y salir de cada canal desarenador hay una compuerta rectangular en acero inoxidable A 304 de 1,55 m de alto por 0,95 m de ancho (ver figura 2).

Las compuertas están dispuestas con el fin de controlar la entrada y salida de agua de cada canal, ya que el principio de diseño es que estén en permanente uso dos de los tres canales desarenadores y el tercero solo se utilice en caso de mantenimiento.



Foto 6. Entrada a desarenadores y compuertas rectangulares

Los desarenadores se usan para remover arenas y gravas que tengan velocidad de asentamiento mayor que la del material orgánico, con el fin de proteger los equipos instalados en la planta.



Foto 7. Canales desarenadores

Los canales desarenadores cuentan con una longitud de 14,70 m y un ancho de 0,95 m, presentan una mayor profundidad a los 4,30 m del inicio de cada desarenador, de cuyo fondo sale una tubería en PVC de 6" de diámetro, por donde son conducidos los sedimentos a una caja, dicho flujo es controlado mediante una válvula de compuerta, después estas arenas son bombeadas a los lechos de secado.

En los lechos de secado de grasas y arenas, se deshidratan las arenas bombeadas desde los canales desarenadores, adicionalmente se deshidratan las grasas bombeadas desde las trampas de grasas y los clarificadores.



Foto 8. Lechos de secado de arenas y grasas



Foto 9. Lechos de secado de arenas y grasas

El material producido es deshidratado extendiéndolo en capas que se exponen a la temperatura ambiente; el lixiviado producido se envía al tanque de igualación.

1.1.3 Vertederos Sutro y rampa de transición. Inmediatamente después de cada compuerta a la salida de los canales desarenadores se instalaron tres vertederos Sutro con el fin de mantener una velocidad de flujo constante en el canal rectangular y de medir el caudal de entrada a la planta ⁽³⁾.



Foto 10. Vertederos Sutro



Foto 11. Rampa de transición

El agua llega a la rampa de transición, que es una estructura en concreto reforzado de 3,35 m de ancho por 2,50 m de longitud, y en profundidad cuenta con doble altura, una de 1,55 m y una segunda de 3,56 m en el muro que comunica con la trampa de grasas; el agua pasa a los tanques de las trampas de grasas a través de dos orificios ubicados al fondo del tanque de 0,50 m de altura por 0,90 m de ancho como se ve en la figura 3.

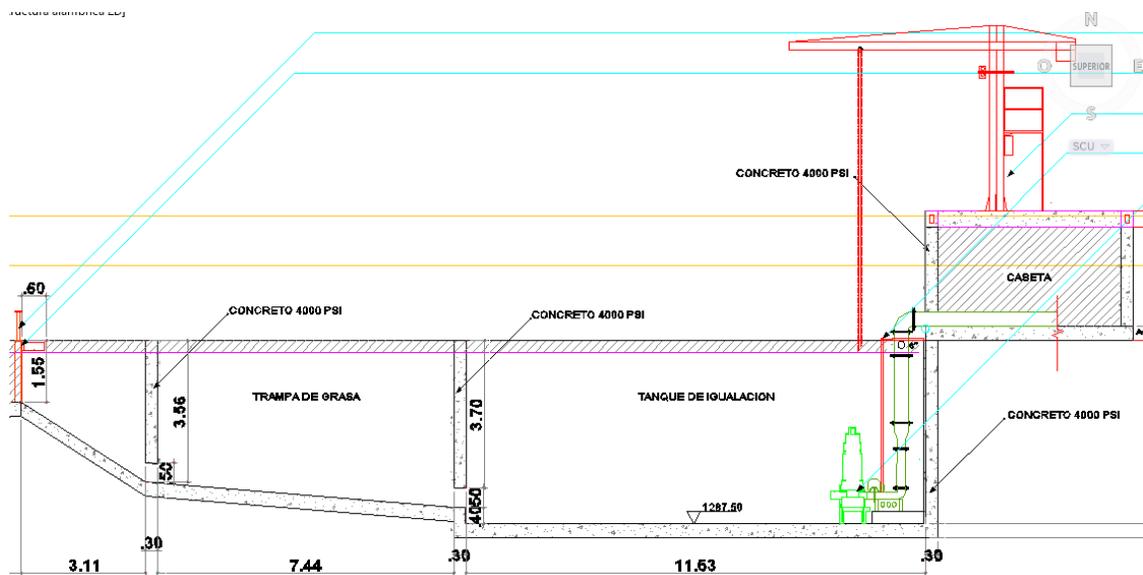


Figura 3. Perfil rampa de transición, trampa de grasas y tanque de igualación ⁽²⁾

1.1.4 Trampa de grasas. Las trampas de grasas constan de dos estructuras en concreto reforzado de 7,44 m de longitud por 5,60 m de ancho, con doble profundidad como se muestra en la figura 3, una de 3,56 m y la segunda de 4,20 m.



Foto 12. Trampas de grasas

Cada estructura tiene una aleta barreadora que tiene la función de arrastrar las grasas que se encuentran en la superficie del agua; estas aletas, conformadas por platinas de acero inoxidable con prolongaciones de Neopreno, están soportadas por un tubo en acero inoxidable de 3" de diámetro y cumplen la función de facilitar el arrastre de las grasas hacia el canal recolector ⁽⁴⁾.

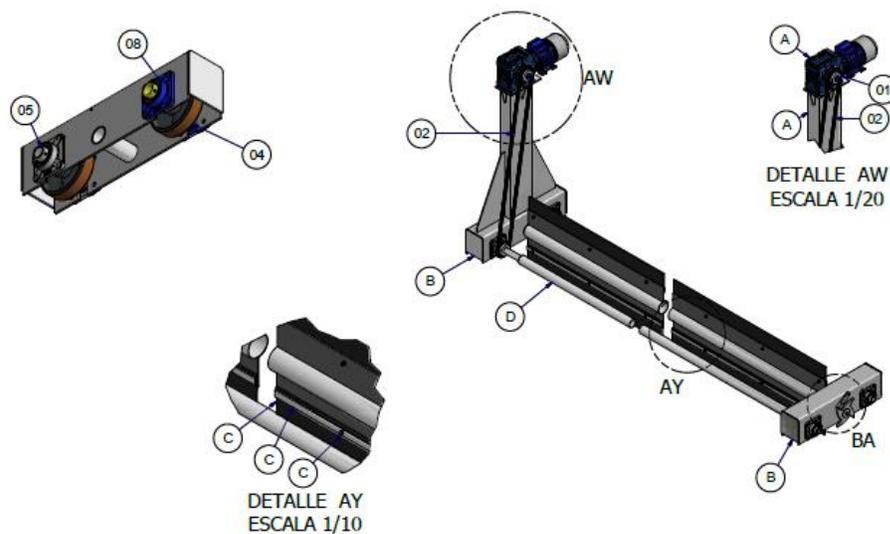


Figura 4. Sistema de aletas barreadoras de grasas ⁽⁴⁾

- A: Pedestal para el motor.
- B: Carro testero.
- C: Paleta barredora.
- D: Eje motriz.
- 01: Piñón.
- 02: Cadena ½" de diámetro.
- 04: Rueda Duraflex.
- 05: Chumacera de 1 ½".
- 08: Arandela de sujeción.

En los costados de cada estructura están instalados dos rieles que le permiten al carro testero movilizarse a lo largo del tanque con el fin de desplazar las aletas barredoras, estos rieles constan de una viga IPE-100 en acero al carbón soldada a un canal en C de 3", cada riel está soportado por ángulos de 2" x 2" x ¼", dispuestos a lo largo del tanque.

Los carros testeros están fabricados en lámina de acero inoxidable de 6 mm de espesor, están soportados por dos ruedas de 8" cada uno y una de ellas tiene tracción por medio de un piñón y una cadena.

En el mismo sistema se instaló un pedestal en lámina de acero inoxidable A 304 de 4,5 mm de espesor, que contiene el sistema de tracción del carro, el cual mantiene el motor alejado del nivel del agua lo que facilita su mantenimiento, los soportes y la base del motor están fabricados en lámina de acero inoxidable de 6 mm de espesor.

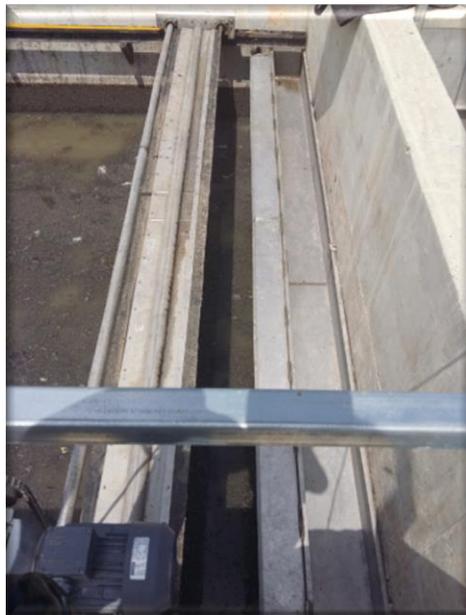


Foto 13. Canal para recolección ubicado en la trampa de grasas

Las aletas arrastran las grasas que flotan en la superficie, hacia un canal en acero inoxidable A 304 de sección 0,40 m x 0,40 m ubicado dentro de cada tanque; cada canal tiene una tubería conectada de 4" que se encarga de dirigir las grasas hacia el pozo de bombeo para que sean llevadas a los lechos de secado de grasas.

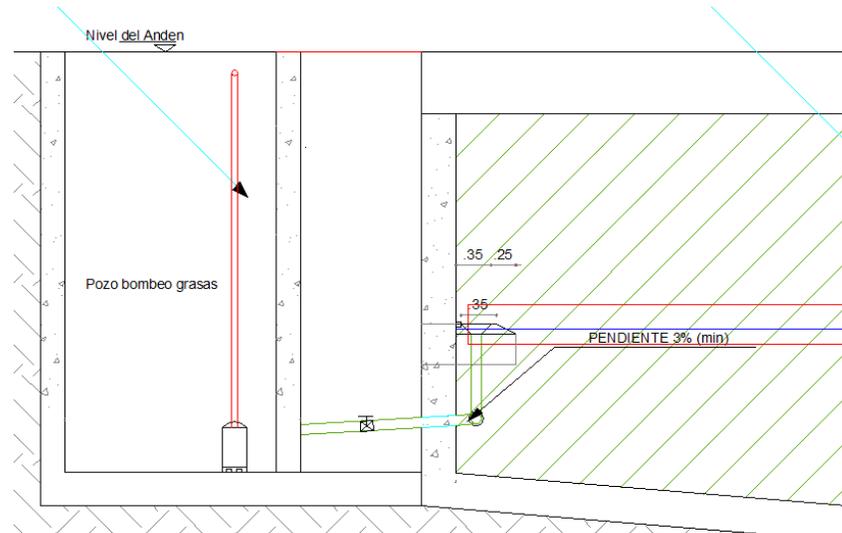


Figura 5. Salida de la trampa de grasas (2)

1.1.5 Tanque de igualación y aireador. El agua proveniente de las trampas de grasas pasa a través de dos orificios de 0,50 m de altura por 0,90 m de ancho al tanque de igualación, tanque en concreto reforzado de 11,50 m de ancho por 11,53 m de longitud y 4,60 m de profundidad en el cual el agua es aireada con lo cual se introduce oxígeno como primera etapa del tratamiento aerobio.



Foto 14. Tanque de igualación

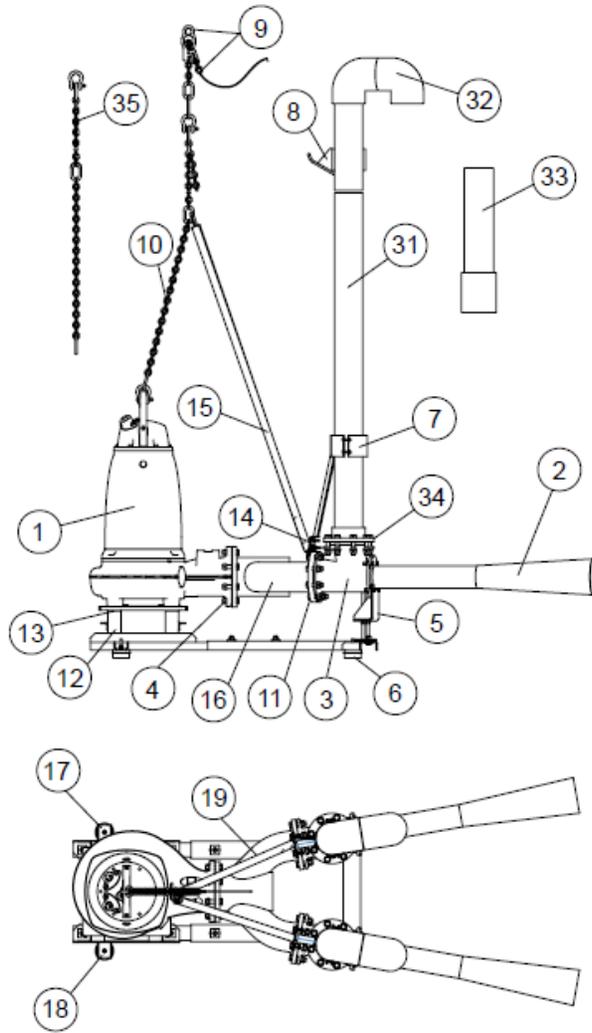


Foto 15. Tanque de igualación y aireador

El aireador a chorro sumergible auto aspirante instalado en el tanque de igualación diseñado para airear y mezclar aguas residuales. Sus componentes básicos son una bomba sumergible y un sistema de eyección ⁽⁵⁾.

El aireador de chorro posee un diseño idóneo para la reducción de DBO o DQO, agitación, control de olor u oxidación de nutrientes ⁽⁵⁾.

Tabla 2. Descripción del aireador a chorro sumergible ⁽⁵⁾



No. de pieza	Nombre de la pieza
1	Bomba
2	Tubo de salida
3	Carcasa del eyector
4	Juego de una brida
5	Pescante
6	Amortiguador
7	Pescante completo
8	Unidad de gancho de izado
9	Unidad de eslinga de cadena
10	Juego de brida
11	Base
12	Juego de montaje
13	Soporte
14	Manguera
15	Tubo de conexión
16	Parte de la base completa izquierda
17	Parte de la base completa derecha
18	Parte de la base completa
31	Unidad de tubo de PVC-U (4 x 1) m
32	Codo
33	Juego de extensión de tubo (2 x 1) m
34	Juego de brida PVC - U
35	Eslinga de cadena

Figura 6. Aireador a chorro sumergible auto aspirante ⁽⁵⁾

El agua del tanque de igualación es bombeada hacia los módulos 1 y 2 para llegar a los desarenadores aireados.



Foto 16. Módulo 2

1.1.6 Estación de bombeo. Es una estructura en concreto reforzado que ocupa un área de 13,30 m por 5,91 m y tiene una altura de 3,0 m; aquí están instaladas 3 bombas de 110 HP que llevan el agua hacia los desarenadores aireados de los módulos 1 y 2. Cada bomba tiene un peso de 1.455 kg.



Foto 17. Estación de bombeo

1.1.6.1 Brazo grúa. En la parte superior de la estación de bombeo encontramos un brazo grúa que permite levantar las bombas para su mantenimiento, este brazo tiene una capacidad de carga de 2 Toneladas ⁽⁶⁾.



Foto 18. Brazo grúa para izaje de bombas

El brazo grúa tiene una altura total de 5,20 m y está compuesto por los siguientes elementos ⁽⁶⁾:

- Un pedestal fabricado en tubería de acero al carbón de 14" de 3,45 m de longitud.
- Un brazo de giro conformado por un tubo vertical de acero de 14" por 1,25 m de longitud.
- Un perfil horizontal IP-270 reforzado mediante una cartela de acero al carbón de 5/8" de espesor, con un contrapeso en concreto ⁽⁵⁾.
- Un malacate Yalelift de 2 toneladas de capacidad.

1.1.7 Conducción desde la estación de bombeo hasta los desarenadores aireados. A continuación se describe las tuberías, válvulas y accesorios, que conducen el agua desde la estación de bombeo hasta los desarenadores aireados del módulo. 2, (véase la Figuras 7 y 8):

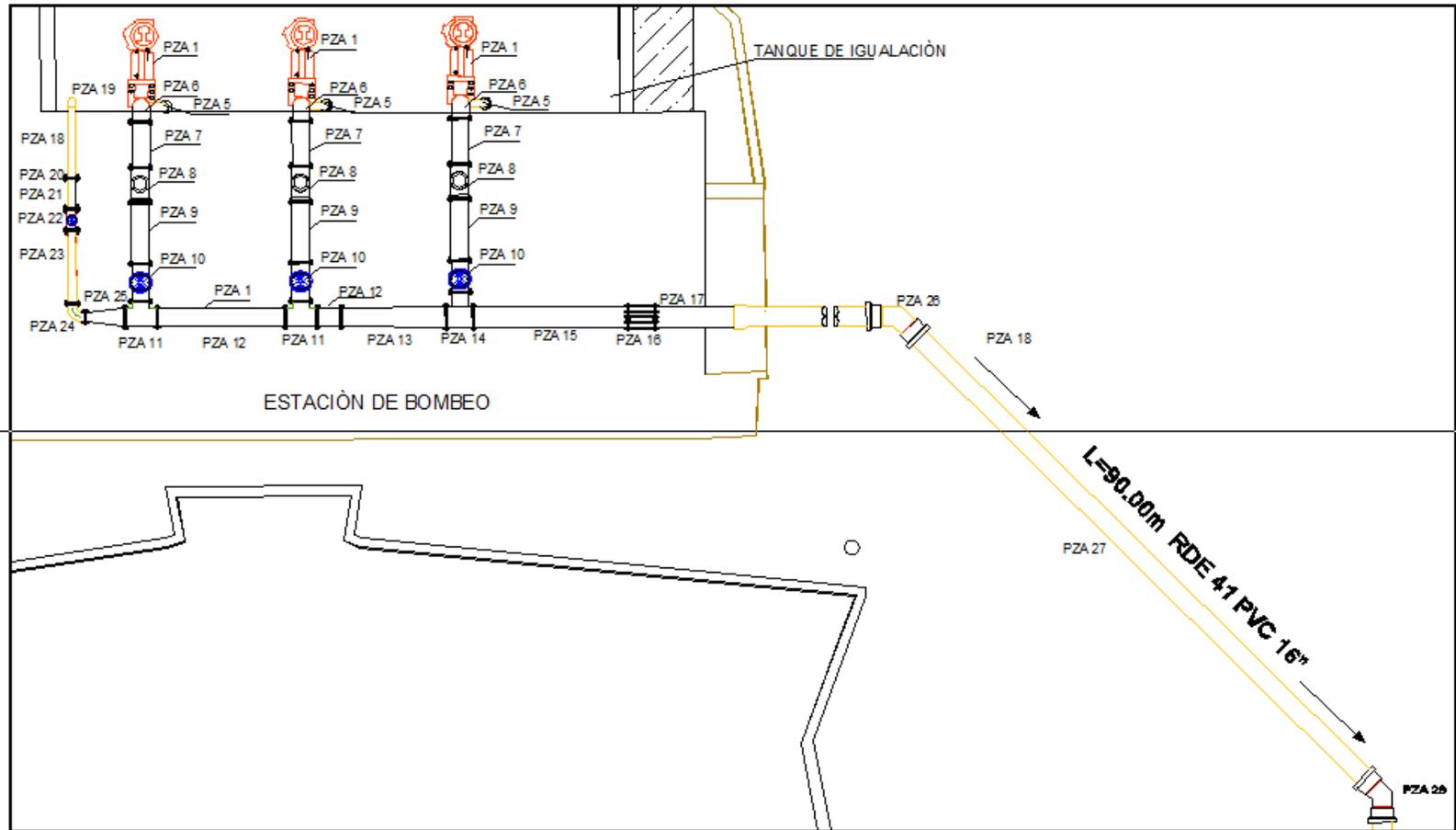


Figura 7. Despiece de tubería desde estación de bombeo hasta desarenadores aireados – primera parte ⁽¹⁾.

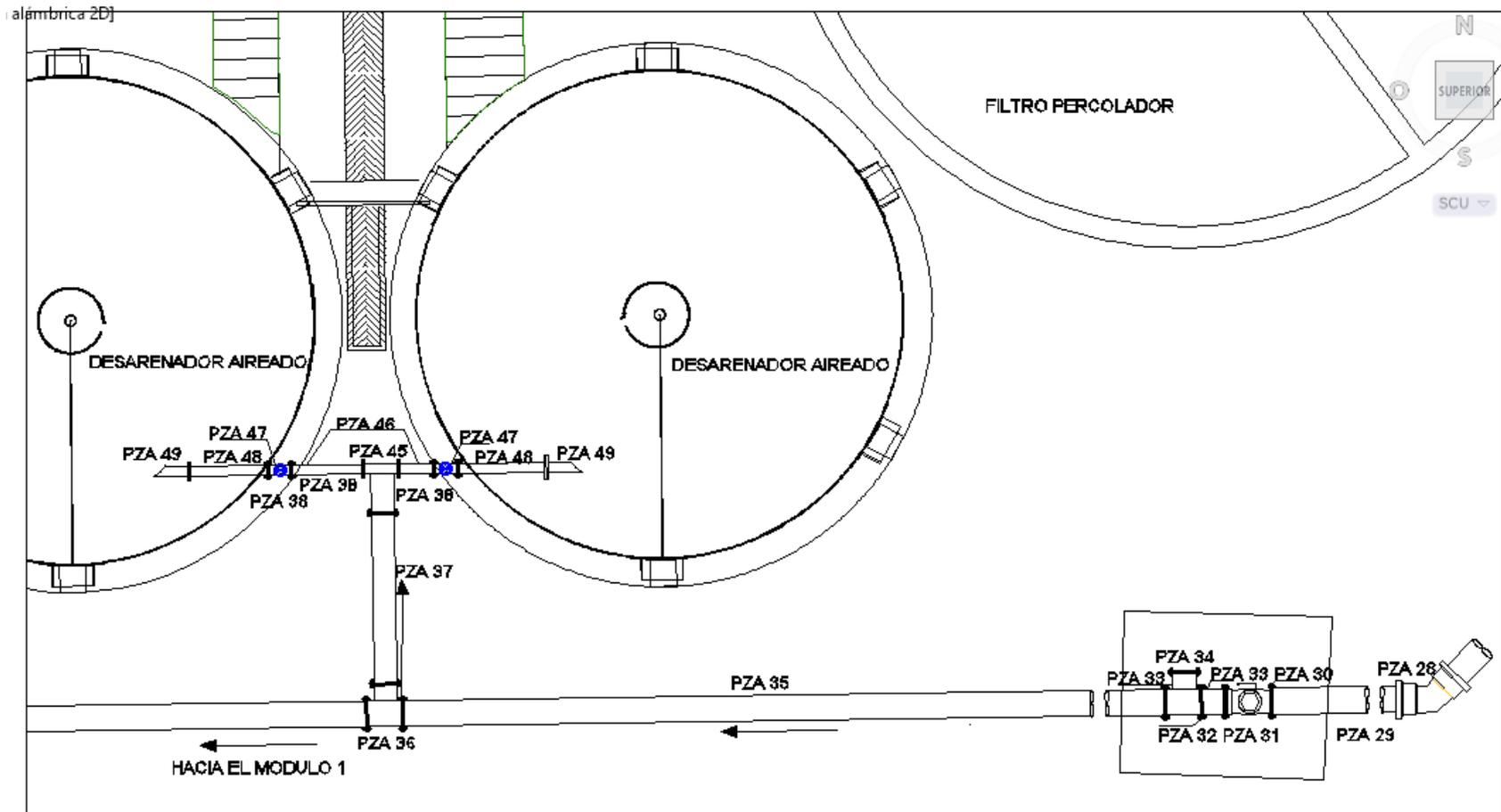


Figura 8. Despiece de tubería desde estación de bombeo hasta desarenadores aireados – segunda parte ⁽¹⁾.

Tabla 3. Despiece de tubería desde tanque de igualación hasta el módulo 2

Ítem	Descripción	Cantidad
1	Bomba de 110 HP, con descarga de 14" de diámetro.	3
2	Niple en hierro dúctil de 14" de diámetro con extremos bridados.	3
3	Tee en hierro dúctil de 14" x 4" de diámetro con extremos bridados.	3
4	Válvula de compuerta en hierro dúctil de 4" de diámetro con extremos bridados.	3
5	Codo en hierro dúctil de 4" x 90° de diámetro con extremos bridados.	3
6	Codo en hierro dúctil de 14" x 90° de diámetro con extremos bridados.	3
7	Niple en hierro dúctil de 14" con extremos bridados.	3
8	Válvula de Cheque de 14" en hierro dúctil con extremos bridados.	3
9	Niple en hierro dúctil de 14" con extremos bridados.	3
10	Válvula de compuerta de 14", con vástago no ascendente en hierro dúctil, con extremos bridados.	3
11	Tee de 14" x 14" de diámetro con extremos bridados.	2
12	Niple en hierro dúctil de 14" de diámetro con extremos bridados.	2
13	Ampliación en hierro dúctil de 14" x 16" de diámetro, con extremos bridados.	1
14	Tee en hierro dúctil de 16" x 14" de diámetro con extremos bridados.	1
15	Tubería de 16" en hierro dúctil con extremo bridado y extremo liso.	1
16	Unión de desmontaje Tipo Dresser de 16" de diámetro.	1
17	Tubería de 16" de diámetro en PVC RDE 41.	2
18	Tubería de 6" de diámetro en PVC RDE 41.	1
19	Codo de 6" x 90° en PVC.	1
20	Acople en hierro dúctil para unión bridada de 6".	1

Tabla 3. Despiece de tubería desde tanque de igualación hasta el módulo 2 (Continuación)

Ítem	Descripción	Cantidad
21	Tubería en hierro dúctil de 6" con extremos bridados.	1
22	Válvula de compuerta de 6" de diámetro con extremos bridados.	1
23	Niple en hierro dúctil de 6" de diámetro con extremos bridados.	1
24	Codo en hierro dúctil de 6" x 90° de diámetro con extremos bridados.	1
25	Ampliación en hierro dúctil con extremos bridados de 6" x 14".	1
26	Codo de 45° x 16" de diámetro en PVC.	1
27	Tubería en PVC RDE 41, de 16" de diámetro.	2
28	Codo de 45° x 16" de diámetro en PVC.	1
29	Tubería en PVC RDE 41, de 16" de diámetro.	2
30	Adaptador para unión bridada de 16".	1
31	Válvula de compuerta de 16" con extremos bridados.	1
32	Adaptador para unión bridada de 16".	1
33	Niple en hierro dúctil de 16".	1
34	Tee de 16" x 16".	1
35	Brida ciega de 16".	1
36	Tubería PVC RDE 41, de 16" de diámetro.	7
37	Tee reducida en PVC de 90° de 16" x 10" de diámetro.	1
38	Tubería de 10" en PVC RDE 41.	2
39	Codo reducido de 90° de 10" x 8" de diámetro.	1
40	Tubería en PVC RDE 41 de 10" de diámetro.	1
41	Codo reducido en PVC de 10" x 8" de diámetro.	1
42	Tubería en PVC RDE 41 de 8" de diámetro.	1
43	Acople para unión bridada de 8" de diámetro.	1

Tabla 3. Despiece de tubería desde tanque de igualación hasta el módulo 2 (Continuación)

Ítem	Descripción	Cantidad
44	Reducción en hierro dúctil 8" x 6" de diámetro, con extremos bridados.	1
45	Tee de 6" x 6", en hierro dúctil, con extremos bridados.	1
46	Niple de 6" con extremos bridados en hierro dúctil.	2
47	Válvula de compuerta de 6" en hierro dúctil con extremos bridados.	2
48	Niple de 6" en hierro dúctil con extremos bridados.	2
49	Entrada tangencial a los Desarenadores Aireados.	2



Foto 19. Tubería de llegada a los desarenadores aireados

1.1.8 Desarenadores aireados. La función principal de esta estructura es la de separar del agua residual los elementos pesados en suspensión, con el fin de evitar el riesgo de atascamiento por acumulaciones en canales y tuberías, y abrasión sobre los elementos mecánicos en funcionamiento; adicionalmente favorecer la separación de materia orgánica que puede quedar adherida a la arena

y ceder una cantidad de oxígeno a la masa de agua ayudando a mantener las condiciones aeróbicas ⁽⁷⁾.



Foto 20. Desarenadores aireados

Los desarenadores aireados consisten en dos tanques, fabricados en acero inoxidable A 304 de 6 mm de espesor, armados en forma cónica y cada uno soldado a un cilindro de las mismas características; los tanques están soportados por una estructura en concreto reforzado.

Cada tanque desarenador tiene un diámetro de 7,50 m, perimetralmente tiene soldado un canal de rebose con un ancho de 0,40 m y una altura de 0,29 m, su función principal es la de recibir el agua ya desarenada y entregarla a un canal recto en acero inoxidable A304 que conduce a un tamiz filtrante autolimpiante, el cual toma el material sólido y lo pasa a un tornillo clasificador que conduce los desechos a una caneca para llevarlos después a su disposición final.



Foto 21. Desarenadores aireados

En la operación del desarenador aireado el agua debe entrar al tanque en forma tangencial y horizontal para que se genere un vórtice que ayude al asentamiento de sólidos. Dentro del tanque hay 4 inyectores de aire que aumentan la eficiencia en la separación del material orgánico del inorgánico. Este sistema es alimentado por una línea de tubería en acero inoxidable de $\frac{3}{4}$ " de diámetro proveniente de un compresor ubicado en la base de los desarenadores ⁽⁷⁾.



Foto 22. Desarenador aireado - Agitador de aire comprimido.

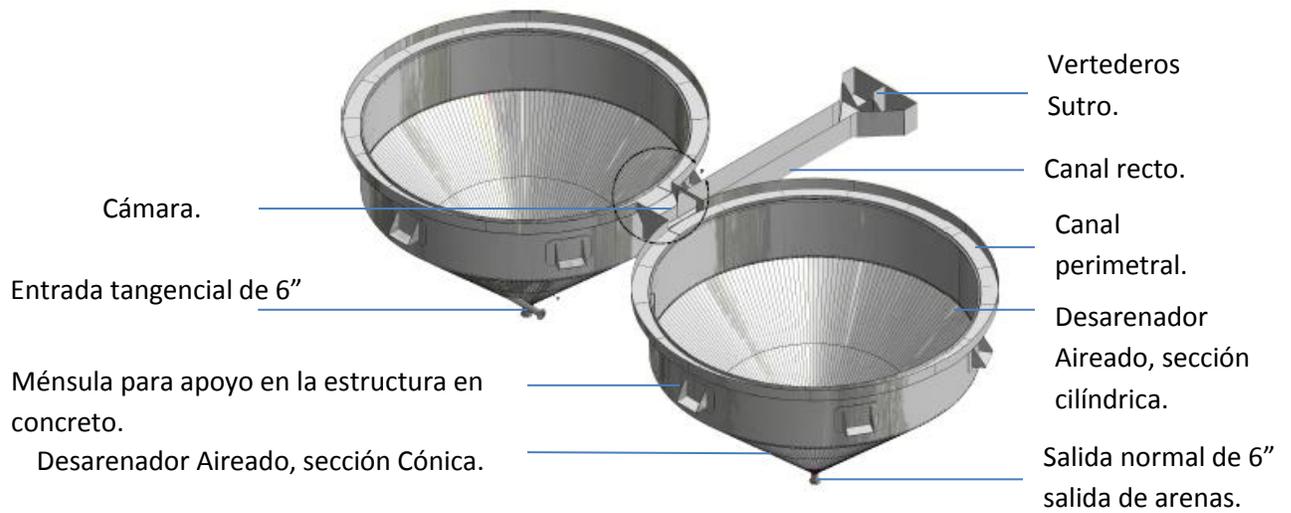


Figura No.9 Desarenadores aireados, cámara, canal recto y vertederos Sutro ⁽⁶⁾.

Las arenas salen por la parte inferior del tanque, y son conducidas por tubería en PVC de 6" de diámetro hasta el clasificador de arenas; el flujo de arenas es controlado por 2 válvulas tipo Guillotina instaladas en los extremos de esta tubería como se muestra en la foto 23.



Foto 23. Salida hacia el clasificador de arenas



Foto 24. Clasificador de arenas

En el clasificador de arenas el agua es retenida entre 2 y 10 minutos para permitir la decantación de sólidos; transcurrido este tiempo entra en funcionamiento un tornillo que eleva por medios mecánicos las arenas separándolas del agua residual para entregarlas al carro que las lleva a su disposición final.

El agua clarificada rebosa por el cajón vertedero hacia la tubería que la lleva de regreso al tanque de igualación.

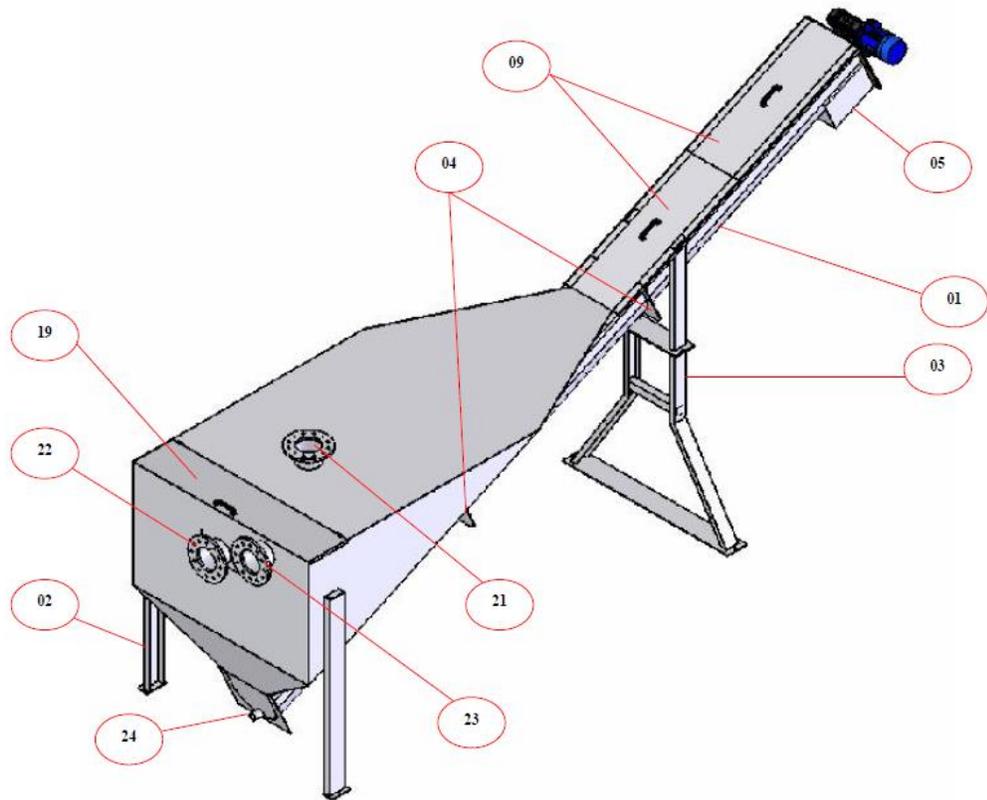


Figura 10. Clasificador de arenas ⁽⁸⁾

Tabla 4. Descripción de partes del clasificador de arenas ⁽⁸⁾

No. de pieza	Nombre de la pieza	Cantidad
01	Canal	1
02	Pata tolva	2
03	Pata desmontable	1
04	Refuerzo canal	2
05	Boca de descarga	1
09	Tapa de protección	2
19	Tapa abatible	1
21	Tubería de entrada	1
22	Tubería de salida	1
23	Tubería de rebose	1
24	Tubería de vaciado	1

1.1.9 Tamiz filtrante autolimpiante. Conformado por un juego de elementos filtrantes en movimiento continuo que retienen en el canal recto partículas y contaminantes con un tamaño máximo de 80 mm, este equipo eleva los materiales retenidos hasta encontrarse con un juego de cepillos y rascadores que los

arrastran hacia el sinfín compactador helicoidal. Para el correcto funcionamiento de este equipo se requiere un caudal máximo de 1 m³ de agua residual a una velocidad de 1 m/s ⁽⁹⁾.

La unidad emplea chorros de agua para aumentar la eficacia de la limpieza. El Tamiz es a prueba de atascamiento ⁽⁹⁾.

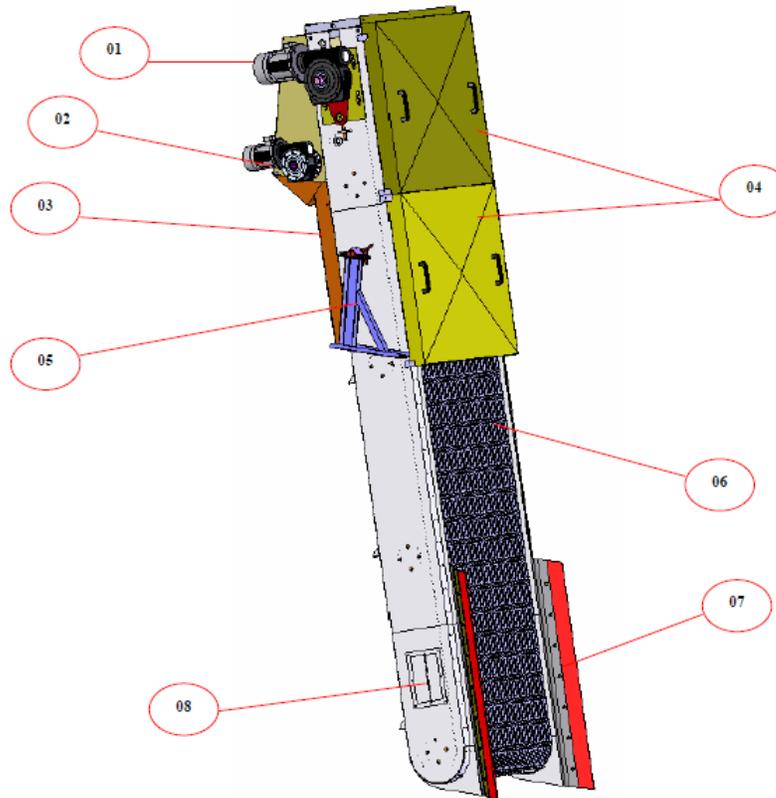


Figura 11. Tamiz filtrante autolimpiante ⁽⁹⁾

Tabla 5. Partes del tamiz filtrante autolimpiante ⁽⁹⁾

No. de pieza	Nombre de la pieza	Cantidad
01	Motor eje para accionamiento.	1
02	Motor eje para el cepillo	1
03	Tapa para protección de la zona de descarga	1
04	Tapa de protección	1
05	Soporte apoyo	2
06	Rejilla filtrante	1
07	Goma estanqueidad	2
08	Tapa registro	1



Foto 25. Tamiz filtrante autolimpiante y sinfín compactador helicoidal

1.1.10 Sinfín compactador helicoidal. Realiza en una sola operación el transporte y compactación de residuos sólidos que salen del tamiz filtrante autolimpiante. Los sólidos son descargados en una caneca, para después ser llevados a su disposición final.

Para anular la posibilidad de averías en este equipo por solidificación de residuos se ha sincronizado eléctricamente su funcionamiento con el tamiz filtrante autolimpiante de tal forma que el sinfín compactador siga en funcionamiento 2 o 3 minutos después de apagado el tamiz evacuando así la totalidad de residuos en proceso ⁽¹⁰⁾.

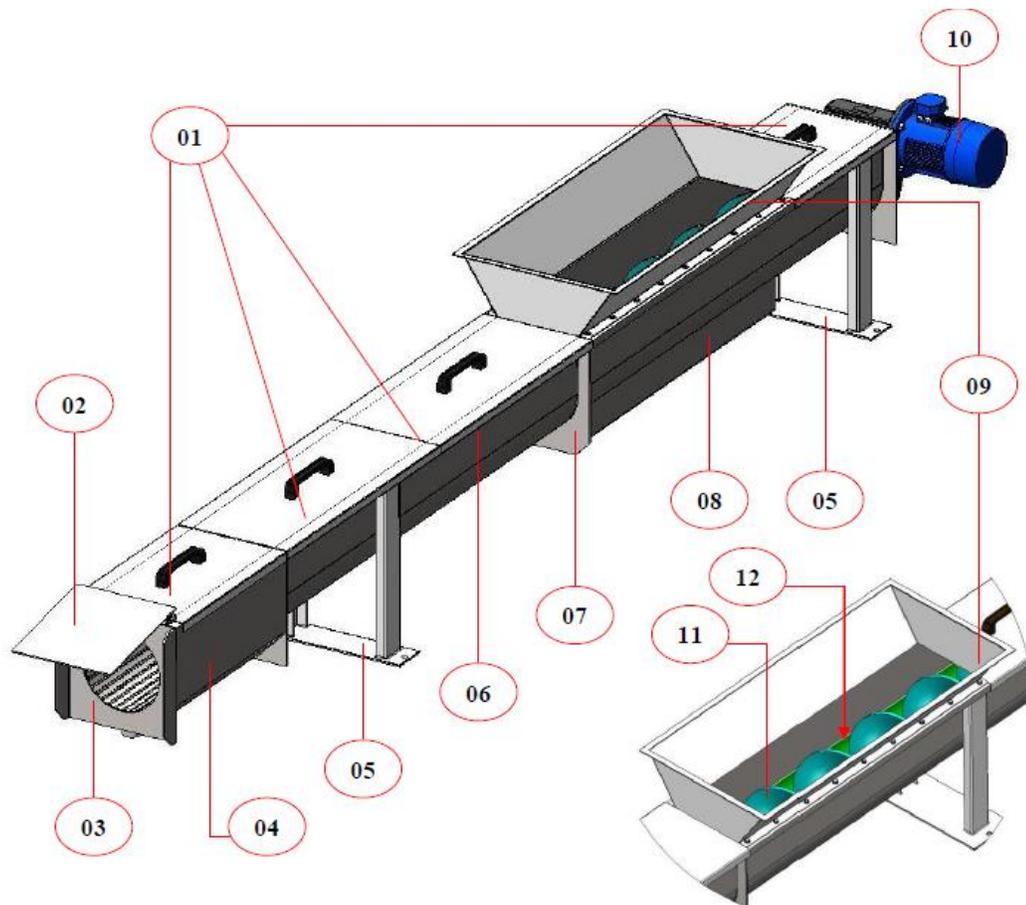


Figura 12. Sinfín compactador helicoidal ⁽¹⁰⁾

Tabla 6. Partes del sinfín compactador helicoidal ⁽¹⁰⁾

No. De pieza	Nombre de la pieza	Cantidad
01	Tapa de protección	4
02	Tapa zona compactación	1
03	Zona de descarga	1
04	Zona de compactación	1
05	Patas	2
06	Canal	1
07	Refuerzo	2
08	Cajón para desagüe zona de descarga	1
09	Tolva de recogida	1
10	Motor	1
11	Rosca de transportación	1
12	Cama de polietileno	1



Foto 26. Sinfín compactador helicoidal

1.2 TRATAMIENTO BIOLÓGICO

1.2.1 Filtros percoladores. El agua sale por gravedad de los vertederos Sutro hacia los Filtros Percoladores a través de una tubería PVC de 10" de diámetro.



Foto 27. Salida del agua del vertedero Sutro a los filtros percoladores



Foto 28. Tubería de 10" que conduce el agua a los filtros percoladores



Foto 29. Llegada de la tubería a los filtros percoladores

El principio de tratamiento del filtro percolador es que sobre el medio filtrante se forma una película de biomasa activa que realiza la descomposición de la materia orgánica. El agua se distribuye en toda la superficie del lecho filtrante y en el fondo cae ya tratada.

En el centro de la estructura de concreto reforzado de 12 m de diámetro por 9,8 m m de altura, se encuentra un tanque receptor que reparte el agua a 2 brazos giratorios motorizados que riegan el agua sobre el material filtrante para que descienda a través de él y salga hacia el clarificador.

Los brazos giratorios son tubos en acero inoxidable A304 de 6" de diámetro y 5,20 m de longitud con 12 boquillas de 2" de diámetro y bridas ciegas de 6 mm de espesor en sus extremos ⁽¹¹⁾.



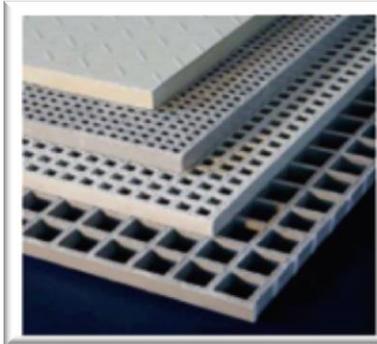
Foto 30. Filtro Percolador

En los filtros percoladores el lecho filtrante está conformado por aproximadamente 2.000.000 de rosetones octogonales en Polipropileno virgen de textura rugosa, con filtro UV, de 187 mm de diámetro, 50 mm de altura, 78 g de peso unitario, y un área superficial de contacto de $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ⁽¹²⁾.



Foto 31. Rosetón en Polipropileno virgen ⁽¹²⁾

La estructura soporte del lecho filtrante está conformada por rejillas en Poliéster reforzado con fibra de vidrio, que fueron instaladas en secciones de 2 m x 1 m, apoyadas en perfiles del mismo material que a su vez se apoyan en columnas de concreto reforzado de 10" de diámetro.



Material PRFV resina Isoftálica.
 Dimensión 2.000 mm x 1.000 mm x 30 mm.
 Malla 30 mm x 30 mm.
 Superficie abierta 64 % aproximadamente.
 Peso por m² 14,6 kg aproximadamente.
 ASTM E 84 clase 1.
 Color gris.

PRFV Resina Isoftálica.
 A 50 mm – B 150 mm – C 100mm S 8 mm
 6 m de longitud.
 Resistencia a la flexión 400 – 600 MPa.
 Resistencia a la tracción 400 – 650 MPa.
 Resistencia a la compresión 150 – 300 MPa.
 Módulo de elasticidad 25.000 – 34.000 MPa.
 Dureza 35/50.

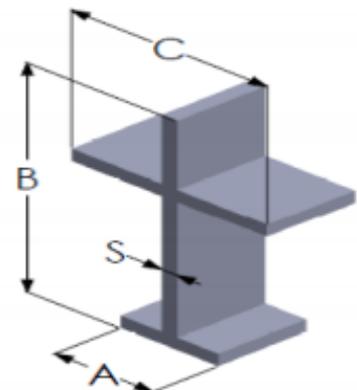


Figura 13. Estructura de soporte del lecho filtrante ⁽¹³⁾.



Foto 32. Columnas de soporte del lecho filtrante

1.2.2 Clarificador. El agua que sale de cada filtro percolador es recogida por un canal que la conduce hacia la cámara de salida donde ingresa a una tubería PVC de 10" de diámetro que la lleva hacia el clarificador.



Foto 33. Cámara de salida hacia el clarificador.



Foto 34. Cámara de salida del agua hacia el clarificador

El clarificador es una estructura circular en concreto reforzado, con 25 m de diámetro y altura perimetral de 2,8 m, cuyo fondo es cónico para facilitar la recolección del material decantado. Alrededor del tubo central, por donde ingresa el agua a la estructura, se encuentra la pantalla central de aquietamiento (Baffle central) en lámina de acero inoxidable A304, que se encarga de disminuir la velocidad del flujo de ingreso para evitar turbulencia en la masa de agua que se encuentra en proceso de sedimentación.

Dentro del clarificador se encuentra instalado un brazo giratorio, fabricado en acero al carbono, del cual están suspendidas una paleta desnatadora que actúa en la superficie del agua y una paleta barreadora de lodos que actúa sobre la superficie del fondo. La rotación de este conjunto se produce por la acción de un motoreductor instalado en el extremo del brazo que toca al borde superior del clarificador.

La paleta desnatadora, fabricada en acero inoxidable y con labio de goma, arrastra las espumas con grasas hacia la tolva desnatadora desde donde son conducidas a un pozo de bombeo y después al lecho de secado de grasas.

Por las pasadas sucesivas de la paleta barreadora de lodos, que cuenta con un labio de goma en contacto permanente con la superficie del fondo, el material particulado decantado es conducido al foso central de donde saldrá hacia el pozo de bombeo que lo impulsará hacia el espesador de lodos.

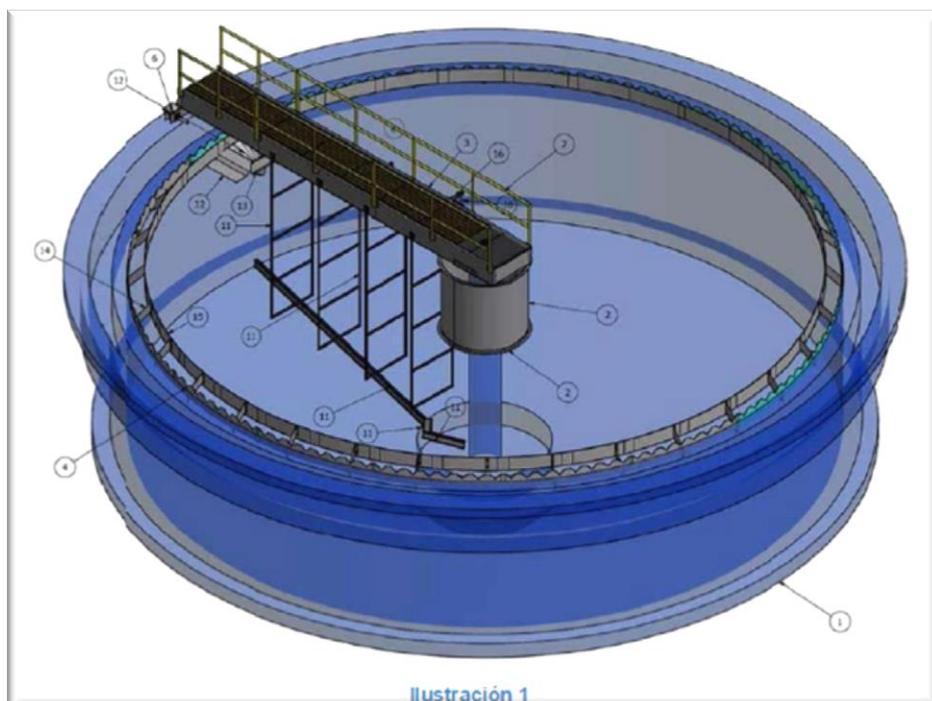


Figura 14. Clarificador y brazo giratorio ⁽¹⁴⁾

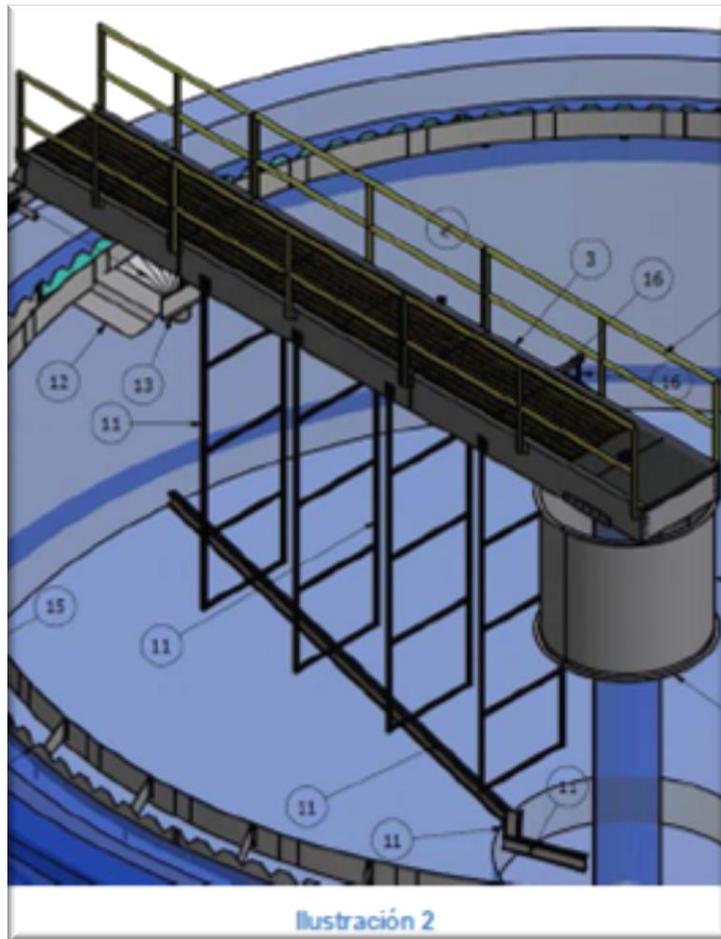


Figura 15. Conjunto brazo y paletas barredoras ⁽¹⁴⁾

En el perímetro del clarificador está instalada una pantalla interceptora de flotantes fabricada en acero inoxidable A304, que tiene como función impedir la salida de sólidos flotantes y espuma por el vertedero perimetral; esta pantalla ha sido fijada mediante ménsulas al vertedero perimetral.

Alrededor de la pantalla interceptora de flotantes se instalaron vertederos triangulares sucesivos fabricados en lámina de acero inoxidable A304 de 4mm, para controlar la uniformidad del flujo ascendente y la salida del agua tratada.

Tabla 7. Partes del brazo giratorio y de las paletas barredoras ⁽¹⁴⁾

Ítem	Cantidad	Pieza	Material
1	1	Tanque circular de sedimentación (clarificador).	Concreto reforzado.
2	1	Bafle central.	Lámina en acero inoxidable A 304, calibre 12.
3	1	Estructura de pasarelas.	Lámina HR A-36 3/16".
4	17	Vertedero perimetral del barredor.	Lámina en acero inoxidable A 304, calibre 16.
5	1	Sistema de giro del barredor.	Acero AISI SAE 1020.
6	4	Sistema motriz – carro testero.	Lamina HR A-36 calibre 3/8".
7	2	Módulo barandas de 3m.	Tubo aguas negras 1 ½" de diámetro.
8	1	Módulo barandas de 2m.	Tubo aguas negras 1 ½" de diámetro.
9	1	Soporte carro testero.	Lamina HR A-36 calibre 1/4".
10	4	Refuerzo carro testero.	Lamina HR A-36 calibre 1/4".
11	1	Brazos de la paleta barredora de lodos.	Tubo cuadrado en acero inoxidable A 304 de 1 ¼" y lámina en acero inoxidable A 304 calibre 14.
12	1	Tolva desnatadora.	Lámina en acero inoxidable A304, de 1/8" espesor.
13	1	Paleta desnatadora.	Lámina en acero inoxidable A 304, calibre 16.
14	32	Soporte bafle perimetral.	Lámina en acero inoxidable A 304, calibre 14.
15	32	Bafle interno perimetral.	Lámina en acero inoxidable A 304, calibre 16.
16	3	Soportes de las paletas barredoras.	Lámina en acero inoxidable A 304, calibre 12.

Sobre el brazo giratorio fue instalado un puente pasarela que permite a los operarios acceder a la estructura para realizar inspección y mantenimiento de los equipos.

1.3 TRATAMIENTO DE LODOS

La salida de lodos del clarificador se controla por una válvula de compuerta de 8" que les da paso hacia una línea de tubería PVC de 8" que los conduce al pozo de bombeo de lodos.



Foto 35. Sistema de calentamiento de lodos

Los lodos bombeados provenientes del clarificador son retenidos en el espesador donde se realiza su reducción a partir del mismo principio de sedimentación consistente en la separación física de la biomasa en lodo y lixiviados. Los líquidos generados a diferentes niveles en el digester se reciclan hacia el tanque de igualación para volver a ser tratados ⁽¹⁵⁾.

El digester primario, está diseñado con el fin de subir la temperatura del agua, mediante un Serpentín como intercambiador de calor y así mejorar la producción de gas metano.

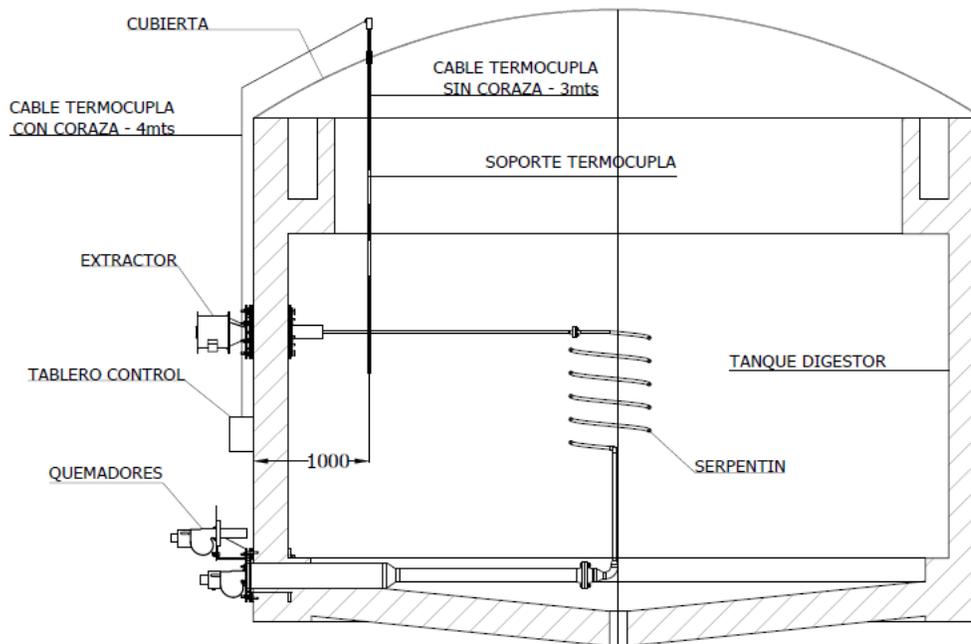


Figura 16. Tanque Digestor primario ⁽¹⁵⁾.

El digestor secundario se realiza la reducción del volumen de lodo generado en el Digestor primario. Capas de agua formadas dentro del digestor se purgan a través de válvulas colocadas a diferentes alturas para mejorar el espesamiento de los lodos.

El proceso de fermentación transformará la parte digerible orgánica de los lodos en gases lo que reducirá el peso neto de los lodos al final del proceso. En promedio se espera una reducción de 30 a 35 % en peso seco ⁽¹⁶⁾.

La digestión produce lodos totalmente mineralizados que no producirían muchos olores a la hora de su evacuación hacia los lechos de secado para su tratamiento final que corresponde a la deshidratación. Para la deshidratación final de los lodos se construyeron dos unidades de lechos de secado ⁽¹⁶⁾.

Las aguas resultantes de los espesadores, digestores y lechos de secado serán enviadas al tanque de igualación para ser nuevamente recirculadas.

2 PARÀMETROS DE DISEÑO

En la figura 17 se presentan el balance hídrico de la PTAR La Marina.

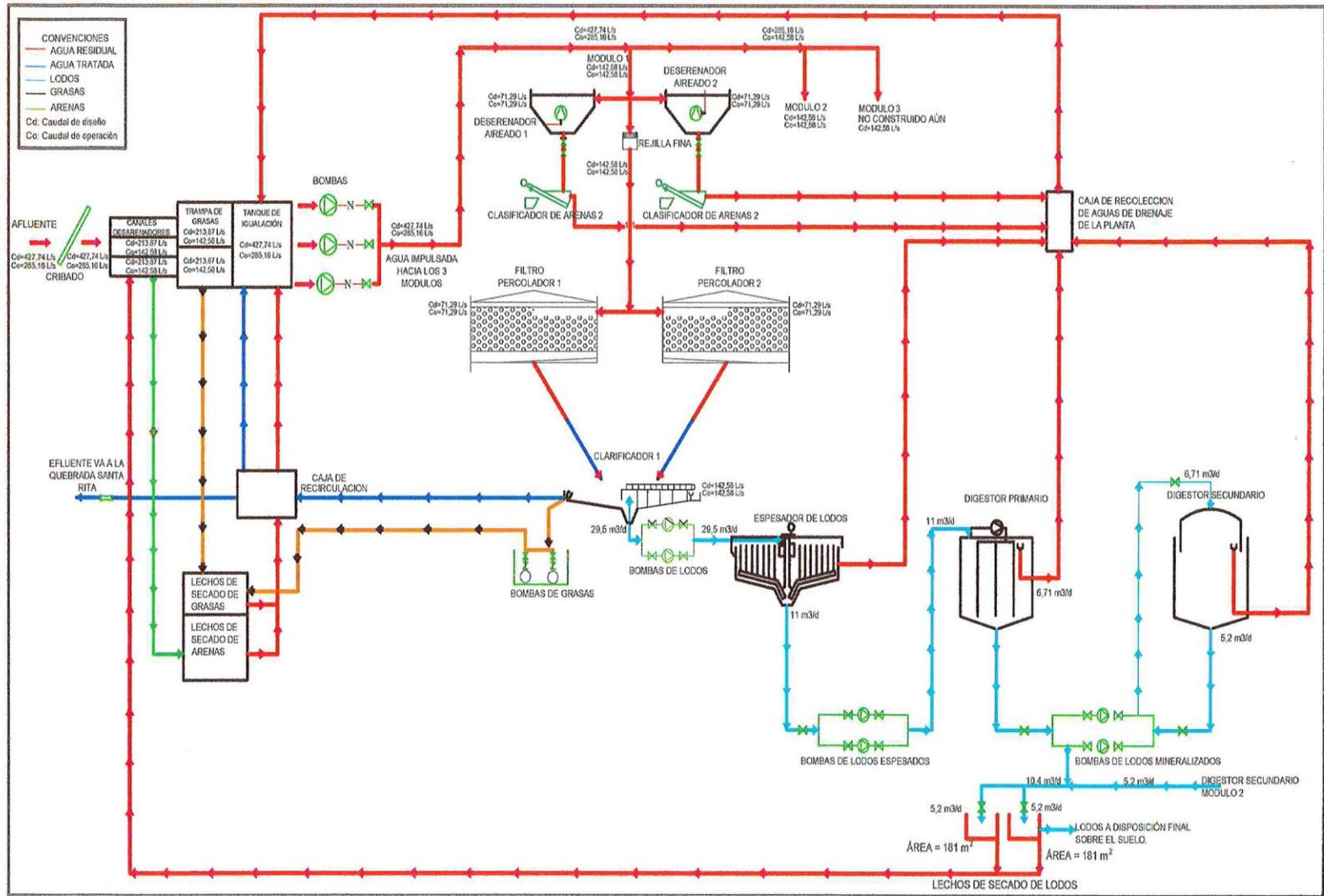


Figura 17. Balance hídrico de la PTAR La Marina ⁽²⁾.

2.1 CRIBADO

v: velocidad de aproximación a la rejilla, m/s.

V: velocidad entre barras, m/s.

E: eficiencia de la rejilla, %.

H_f: pérdida de carga, m.

a: espaciamiento entre barras, m.

t: espesor de barra, in.

h : Altura lámina de agua, m.

Q_d: caudal de diseño, $\frac{L}{s}$, 427,74 L/s.

S: pendiente del canal, m/m.

n: coeficiente de Manning.

A: área transversal, m².

P: perímetro mojado, m.

R: radio hidráulico, m.

2.1.1 Rejilla gruesa. Datos tomados del diseño y de los planos record:

$$a = 0,075 \text{ m}^{(2)}$$

$$t = \frac{1}{4}''^{(2)}$$

$$v = 1,05 \text{ m/s}^{(2)}$$

2.1.1.1 Eficiencia.

$$E = \frac{a}{a + t} = \frac{0,075}{0,075 + 1,25 \times 0,0254} = 70 \%$$

2.1.1.2 Velocidad mínima entre barras.

$$V = \frac{v}{E}$$

$V = \frac{1,05}{0,70} = 1,5 \text{ m/s} > 0,3 \text{ a } 0,6 \text{ m/s}$ velocidad mínima entre barras limpiadas manualmente sugerida por el RAS 2.000.

2.1.1.3 Máxima pérdida de carga.

$$H_f = \frac{V^2 - v^2}{2 \times g} \times \frac{1}{0,7} = \frac{1,5^2 - 1,05^2}{2 \times 9,806 \times 0,7} = 0,084 \text{ m} < 0,75 \text{ m}$$
 Cumple con RAS 2.000

Tabla 8. Parámetros de diseño de la rejilla gruesa limpiada manualmente

Parámetro	Resultado	Valor según RAS 2000	Observaciones
Espaciamiento	75 cm	15 - 50 cm manualmente	No cumple.
Velocidad mínima de aproximación	1,05 m/s	0,3 – 0,6 m/s	No cumple.
Velocidad mínima entre barras	1,5 m/s	0,3 – 0,6 m/s	No cumple.
Pérdida de carga	8,4 cm	≤ 75 cm	Cumple.

2.1.2 Rejilla fina. Datos tomados del diseño y de los planos record:

$$a = 0,025 \text{ m}$$

$$t = 0,004 \text{ m}$$

$$\text{Ancho del canal} = 1,2 \text{ m}$$

$$S = 0,2 \%$$

$$n = 0,013$$

$$v = 1,1 \text{ m/s}$$

2.1.2.1 Eficiencia.

$$E = \frac{a}{a + t} = \frac{0,025}{0,025 + 0,004} = 86 \%$$

2.1.2.2 Altura de la lámina de agua.

$$Q_d = \frac{1}{n} A * R * h^{2/3} S^{1/2}$$

$$Q_d = \frac{A^{5/3}}{n * P^{2/3}} * S^{1/2}$$

$$h = 0,3 \text{ m}$$

2.1.2.3 Velocidad entre barras.

$$V = \frac{v}{E}$$

$$V = \frac{1,1}{0,86} = 1,3 \text{ m/s}$$

2.1.2.4 Máxima pérdida de carga.

$$H_f = \frac{V^2 - v^2}{2 \times g} \times \frac{1}{0,7} = \frac{1,3^2 - 1,1^2}{2 \times 9,806 \times 0,7} = 0,035 \text{ m} < 0,75 \text{ m Cumple con RAS 2.000}$$

Tabla 9. Parámetros de diseño de la rejilla fina limpiada manualmente

Parámetro	Resultado	Valor según RAS 2000	Observaciones
Espaciamiento	25 mm	15 - 50 mm	Cumple.
Velocidad mínima de aproximación	1,1 m/s	0,3 – 0,6 m/s	No cumple.
Velocidad mínima entre barras	1,3 m/s	0,3 – 0,6 m/s	No cumple.
Pérdida de carga	4 cm	≤ 75 cm	Cumple.

2.2 CANALES DESARENADORES

Q_d : caudal de diseño, L/s.

q : caudal unitario, m/d.

L : longitud del desarenador, m.

A : ancho de cada canal desarenador, m.

A_s : área superficial, m².

CS : carga superficial, m/d.

T : tiempo de retención, s.

v : velocidad de flujo, m/s.

H : altura del canal desarenador, m.

d_c : profundidad en la sección de control, m.

v_c : velocidad en la sección de control, m/s.

a : área en la sección de control, m².

w : ancho en la sección de control, m.

y_c : profundidad crítica, m.

Datos tomados del diseño y de los planos record:

$$Q_d = 213,87 \text{ L/s}^{(2)}$$

$$L = 14,70 \text{ m}^{(2)}$$

$$A = 0,95 \text{ m}^{(2)}$$

2.2.1 Área y Carga superficial.

Se construyeron 3 canales desarenadores, pero sólo 2 operan permanentemente y el tercero es para que funcione en caso de mantenimiento.

$$A_s = 14,70 \times 0,95 = 13,97 \text{ m}^2$$

$$CS = \frac{Q}{A_s} = \frac{213,87 \times 86.400}{13,97 \times 1.000} = 1.322,72 \text{ m/d}$$

2.2.2 Velocidad de diseño y tiempo de retención.

$$v = 0,3 \text{ m/s}^{(2)} \text{ (0,2 – 0,4 según RAS)}$$

$$T = \frac{14,7}{0,3} = 49 \text{ s}$$

2.2.3 Sección de control ⁽³⁾.

$$q = \frac{Q_d}{w}$$

Profundidad crítica:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{Q_d^2}{w^2 g}}$$

Área de flujo en la sección de control:

$$y_c w = \sqrt[3]{\frac{Q_d^2 w}{g}} = \sqrt[3]{\frac{(0,213)^2 \times 0,95}{9,8}} = 0,16 \text{ m}^2$$

Profundidad crítica en la sección de control:

$$d_c = \frac{a}{w} = \frac{0,16}{0,95} = 0,17 \text{ m}$$

Energía en el canal = Energía en la sección de control + pérdidas

$$H + \frac{v^2}{2g} = d_c + \frac{v_c^2}{2g} + 0,1 \frac{v_c^2}{2g}$$

Para canales rectangulares tenemos:

$$d_c = \frac{v_c^2}{g} = 2 \frac{v_c^2}{2g}$$

$$H + \frac{v^2}{2g} = 2 \frac{v_c^2}{2g} + \frac{v_c^2}{2g} + 0,1 \frac{v_c^2}{2g} = 3,1 \frac{v_c^2}{2g}$$

$$H + \frac{v^2}{2g} = 3,1 \frac{v_c^2}{2g} = \frac{3,1}{2} \times 2 \frac{v_c^2}{2g} = \frac{3,1}{2} d_c$$

Profundidad en el canal desarenador:

$$H = \frac{3,1 \times 0,17}{2} - \frac{0,3^2}{2 \times 9,8} = 0,26 - 0,005 = 0,26 \text{ m}$$

Se construyeron 3 canales desarenadores de los cuales van a estar en operación normal de la planta 2 unidades; por tal razón los 2 canales deben estar en capacidad de operar el caudal de diseño; al calcular la altura útil de cada canal desarenador con la mitad del caudal de diseño, da como resultado una altura de 0,26 m, y cada canal está construido con una profundidad de 1,53 m en su menor profundidad, por lo tanto cumple con esta condición del RAS.

Tabla 10. Parámetros de diseño de los canales desarenadores

Parámetro	Resultado	Valor según RAS 2000	Observaciones
Geometría	Profundidad 1,53 m	2 – 5m	No cumple.
	Relación largo : ancho 15,5 : 1	2,5:1 – 5:1	Superior.
	Relación ancho : profundidad 0,62 : 1	1:1 – 5:1	No cumple.
Localización	Se localizan antes de las la estación de bombeo.	Antes de la estación de bombeo y sedimentación primaria.	Cumple.
Unidades construidas	3 unidades, cada unidad tiene la capacidad de operar el caudal de diseño.	Mínimo 2 unidades para cualquier nivel de complejidad.	Cumple.
Carga superficial	1.322,72 m/d	700 – 1.600 m/d	Cumple.
T Tiempo de retención	49 segundos	20 s – 3 min.	Cumple.
Estructura de control del caudal	Vertedero Sutro	Vertedero Sutro o proporcional	Cumple.
Limpieza	Limpieza manual con agua o cepillo.	Para este caudal se recomienda limpieza mecánica con chorros de agua en las paredes	-
Almacenamiento de arenas	Se controla la salida de arenas por medio de una válvula.	Sacar las arenas por medio de palas.	Cumple.

2.3 TRAMPA DE GRASAS

L: longitud de la trampa de grasas, m.

A: ancho de la trampa de grasas, m.

As: área superficial, m².

CS: carga superficial. m/d.

Q_d: caudal de diseño, L/s.

V: volumen de una unidad de trampa de grasas, m³.

T: tiempo de retención, min.

P₁: profundidad de operación, m.

P₂: profundidad de operación, m.

Datos tomados del diseño y de los planos record:

$$Q_d = 213,87 \text{ L/s}^{(2)}.$$

$$A = 5,6 \text{ m.}$$

$$L = 7,44 \text{ m.}$$

$$P_1 = 2,56 \text{ m}$$

$$P_2 = 3,20 \text{ m}$$

2.3.1 Área mínima y área superficial. De acuerdo con el RAS el área superficial mínima debe ser de 0,25 m² por cada L/s, para el caudal de la planta tenemos:

$$\text{Área mínima} = \frac{213,87 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 0,25 \text{ m}^2}{1 \frac{\text{L}}{\text{s}}} = 53,47 \text{ m}^2$$

$$A_s = 5,6 \text{ m} \times 7,44 \text{ m} = 41,66 \text{ m}^2$$

Por lo tanto el área construida no cumple con el área mínima exigida por el RAS.

2.3.2 Carga superficial.

$$CS = \frac{Q_d}{A_s} = \frac{213,87 \text{ L/s}}{41,66 \text{ m}^2} = 443,01 \text{ m/d}$$

2.3.3 Volumen y tiempo de retención:

$$V = \left(\frac{2,56 \text{ m} + 3,20 \text{ m}}{2} \right) \times 7,44 \text{ m} \times 5,6 = 120 \text{ m}^3$$

$$T = \frac{V}{Q_d} = \frac{120 \text{ m}^3}{0,21387 \text{ m}^3/\text{s} \times 60 \text{ s}/\text{min}} = 9,4 \text{ min}$$

Tabla 11. Parámetros de diseño de la trampa de grasas.

Parámetro	Resultado	Valor según RAS	Observaciones
Área mínima	41,66 m ²	0,25 m ² por cada L/s, es decir 53,47 m ²	No cumple.
Geometría	Relación Ancho : Longitud 1 : 1.3	1:4 - 1:18	No cumple.
Carga Superficial	443 m/d	-	-
φ Tiempo de retención	9,4 min.	≥ 5 min.	Cumple.
Salida de la trampa de grasas	La sumergencia a la salida es de 3,70m y con respecto al fondo del tanque está ubicada a 0,40m.	La sumergencia a la salida debe ser mínimo de 0,9m y con respecto al fondo del tanque debe estar ubicada mínimo a 0,15 m.	Cumple.

2.4 TANQUE DE IGUALACIÓN

L: longitud del tanque de igualación, m.

A: ancho del tanque de igualación, m.

P: profundidad, m.

As: área superficial, m².

CS: carga superficial, m/d.

Q_d: caudal de diseño, L/s.

V: volumen del tanque de igualación, m³.

T: tiempo de retención, min.

Datos tomados del diseño y de los planos record:

$$P = 4,60 \text{ m}$$

$$A = 11,50 \text{ m}$$

$$L = 11,53 \text{ m}$$

$$Q_d = 427,74 \text{ L/s}$$

2.4.1 Volumen y tiempo de retención.

$$V = 11,50 \text{ m} \times 11,53 \text{ m} \times 4,60 \text{ m} = 609,94 \text{ m}^3$$

$$T = \frac{V}{Q_d} = \frac{609,94 \text{ m}^3}{0,42774 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 60 \text{ s/min}} = 24 \text{ min}$$

Tabla 12. Parámetros de diseño del tanque de igualación.

Parámetro	Resultado	Valor según RAS	Observaciones
Tiempo de retención	24 min	-	-

2.5 DESARENADORES AIREADOS TIPO VÓRTICE

Esta planta cuenta con 4 desarenadores tipo vórtice contruidos, 2 por cada módulo, cada uno está ubicado después de la estación de bombeo y antes del clarificador, vale la pena aclarar que esta planta no cuenta con sedimentador primario.

Q_d : caudal de diseño, L/s.

V: volumen de un desarenador, m^3 .

T: tiempo de retención, min.

As: área superficial, m^2 .

CS: carga superficial, m/d.

r: radio del cilindro, m.

r_1 : radio mayor del cono truncado, m.

r_2 : radio menor del cono truncado, m.

H: altura del cilindro, m.

h: altura del cono truncado, m.

Datos tomados del diseño y de los planos record:

$r = 3,75 \text{ m}$

$r_1 = 3,75 \text{ m}$

$r_2 = 0,076 \text{ m}$

$H = 1,63 \text{ m}$

$h = 3,3 \text{ m}$

$Q_d = 71,29 \text{ L/s}$

El libro de Metcalf y Eddy recomiendan que estos desarenadores deben estar dimensionados para tratar caudales hasta de $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

$Q_d = 71,29 \text{ L/s} \approx 0,07129 \text{ m}^3/\text{s}$ por tal motivo cumple con la recomendación.

2.5.1 Volumen del desarenador y tiempo de retención.

$$V = V_{\text{cilindro}} + V_{\text{cono truncado}}$$

$$V_{\text{cilindro}} = \pi r^2 H = \pi \times 3,75^2 \times 1,63 = 72 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cono truncado}} = \frac{h\pi}{3} (r_1^2 r_2^2 + r_1 r_2) = \frac{3,3 \times \pi}{3} (3,75^2 \times 0,076^2 + 3,75 \times 0,076)$$

$$V_{\text{cono truncado}} = 1,3 \text{ m}^3$$

$$V = 73,3 \text{ m}^3$$

$$T = \frac{V}{Q_d} = \frac{73,3}{0,07129} = 17 \text{ min}$$

De acuerdo con el libro de Metcalf y Eddy para este caudal se recomienda un tiempo de retención de 30 s, en el cálculo nos da un tiempo mayor lo cual es mejor para la operación de cada desarenador.

2.5.2 Área y carga superficial.

$$Q_d = 71,29 \text{ L/s} \approx 6.159,5 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$A_s = \pi r^2 = \pi \times 3,75^2 = 44,2 \text{ m}^2$$

$$CS = \frac{Q_d}{A_s} = 139,4 \frac{\text{m}}{\text{d}}, < 700 - 1.600 \frac{\text{m}}{\text{d}}, \text{ Cumple RAS 2.000.}$$

Tabla 13. Parámetros de diseño de los desarenadores aireados.

Parámetro	Resultado	Valor según RAS	Observaciones
Geometría	4,93 m de altura	2,5 – 5 m de altura	Cumple.
	Cámara superior 7,50 m de diámetro	1 – 7 m de diámetro	Cumple.
	Cámara inferior 0.152 m de diámetro	1 – 2 m de diámetro	Cumple.
Carga superficial	139,4 m/d	700 – 1.600 m/d	Cumple.
Tiempo de retención	17 min	-	-

2.6 FILTROS PERCOLADORES

Modelo de Germain:

Se: DBO soluble del efluente, mg/L

So: DBO soluble del afluente, sin incluir recirculación, mg/L

Sa: DBO del afluente al filtro, incluyendo la recirculación, mg/L.

K: constante de tratabilidad, $m^{-0.5} d^{-0.5}$.

K_T : constante de tratabilidad a la temperatura de diseño T, $m^{-0.5} d^{-0.5}$.

K_{20} : constante de tratabilidad a 20 °C.

K_{19} : constante de tratabilidad a 19 °C.

D: profundidad del filtro, m.

q: carga hidráulica, m/d.

n: coeficiente hidráulico, 0,5 para medio plástico.

Q_d : caudal de diseño, L/s.

T_{min} : temperatura mínima esperada, °C.

V: volumen del filtro, m^3 .

COV: carga orgánica volumétrica, kg/d.

As: área superficial, m^2 .

CO: carga orgánica, kg/d.

r: radio del filtro, m.

CHS: carga hidráulica superficial, m/d.

Datos tomados del diseño de la PTAR y de los planos de diseño:

$T_{min} = 19$ °C.

D = 6,14 m.

$Q_d = 142,58$ L/s.

r = 6,00 m

$K_{20} = 2,51$

Se = 70 mg/L lo permitido de acuerdo con la resolución 0631 de 2.015.

R = 0, ya que en la planta no se está haciendo recirculación en la operación.

2.6.1 Constante de tratabilidad a la temperatura de diseño.

$$K_T = K_{20} (1,035)^{T_{min}-20} = 2,51 (m \times d)^{-0.5} * (1,035)^{19-20} = 2,43 (m \times d)^{-0.5}$$

2.6.2 Carga orgánica.

Carga unitaria = 50 g DBO/Hab*d ⁽¹⁸⁾

Esta planta fue diseñada en el año 2.012 en ese momento el número de habitantes era de 70.375, por la cantidad de habitantes le corresponde un nivel de

complejidad alto, por lo tanto el periodo de diseño debe ser de 30 años; de acuerdo con la proyección de población arroja como resultado que el número de habitantes en Armenia para el año 2.042 es de 191.698 ⁽²⁾.

$$CO = 191.698 \text{ Hab} * 50 \text{ g/Hab*d} = 9.584.900 \text{ g/d}$$

2.6.3 DBO del afluente.

$$S_o = 9.584.900 \frac{\text{g}}{\text{d}} \times \frac{1 \text{ d}}{86.400\text{s}} = 111 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

$$S_o = \frac{111 \frac{\text{g}}{\text{s}}}{285,16 \frac{\text{L}}{\text{s}}} = 389 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

2.6.4 Carga hidráulica.

De acuerdo con el modelo de Germain ⁽³⁾

$$K_{19} = 2,43(\text{md})^{-0,5}; R = 0; E = 82\%$$

$$q = \left(\frac{KD}{\ln \left(\frac{S_o + RSe}{(1 + R)Se} \right)} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$q = \left(\frac{2,43 \times 6,14}{\ln \left(\frac{389 + 0 * 70}{(1 + 0)70} \right)} \right)^{\frac{1}{0,5}} = \left(\frac{14,92}{\ln(5,56)} \right)^2 = 75,6 \frac{\text{m}}{\text{d}}$$

2.6.5 Revisión del área.

$$A_s = \frac{Q_m}{q} = \frac{24.638}{75,63} = 326 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de los 4 filtros construidos} = \pi \times 6^2 \times 4 = 452,4 \text{ m}^2$$

$$CHS = \frac{24.638}{452,4} = 54 \frac{\text{m}}{\text{d}}; 14 - 84,2 \frac{\text{m}}{\text{d}}, \text{ Cumple RAS.}$$

2.6.6 Carga orgánica volumétrica.

$Q_d = 285,16 \text{ L/s} \approx 24.638 \text{ m}^3/\text{d}$, para los 4 filtros percoladores, 2 filtros por módulo.

Volumen de cada filtro percolador de 12 m de diámetro y 6,14 m de altura:

$$V = 6,14 \times \pi \times 6^2 = 694,4 \text{ m}^3$$

$$COV = \frac{S_o \times Q_d}{V} = \frac{389 \times 24.638}{4 \times 694,4} = 3,45 \text{ kg DBO/m}^3 \cdot \text{d}$$

0,5 – 1,6 según RAS 2.000, $\leq 4,8$ para torres biológicas ⁽³⁾.

2.6.7 Eficiencia de remoción de DBO.

$$E = \frac{S_o - S_e}{S_o} \times 100 = \frac{389 - 70}{389} \times 100 = 82\%$$

2.6.8 Ventanas de ventilación.

$$\text{Perímetro del filtro} = 2 \times \pi \times r = 2 \times \pi \times 6 = 37,7 \text{ m}$$

$$\text{Área total de las ventanas de ventilación} = 19 \text{ ventanas} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 19 \text{ m}^2$$

$$\text{Área del filtro} = \pi \times r^2 = 113 \text{ m}^2$$

$$\text{Área ventilada} = 113 \text{ m}^2 \times 15\% = 17 \text{ m}^2$$

2.6.9 Distribución de caudal. El agua es descargada a los filtros percoladores por gravedad y la recirculación comienza nuevamente en el tanque de igualación y no en el filtro percolador, como habitualmente se realiza.

$Q_d = 71,29 \text{ L/s} \approx 6.159 \text{ m}^3/\text{d}$, para un filtro.

De acuerdo con el RAS el agua residual debe ser distribuida en el filtro por distribuidores rotativos que giran alrededor de un eje, sobre el área superficial del filtro. Al caudal medio de diseño, el volumen aplicado en cualquier punto por metro cuadrado de área de superficie de filtro no debe exceder el 10%, más o menos del volumen calculado:

Volumen de agua que cae en un día:

$$V = 6.159 \text{ m}^3$$

$$\text{Área del filtro} = 113 \text{ m}^2$$

$$\frac{V}{A} = \frac{6.159}{113} = 54,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

$$V = 6,14 \times \pi \times 6^2 = 694,4 \text{ m}^3$$

$$10\% * V = 69,4 \text{ m}^3$$

$$54,5 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} < 69,4 \text{ m}^3, \text{ Cumple con RAS}$$

2.6.9.1 Sistema de desagües inferiores. Para evacuar el agua que pasa a través del filtro percolador, en el fondo se construyó con una placa con una pendiente la cual se encarga de dirigir el agua hacia un canal de 11,0 m x 0,50 m que atraviesa el filtro.

$$\text{Área del filtro} = 113 \text{ m}^2$$

$$\text{Área del drenaje construida} = 11 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 5,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de drenaje} = 15\% \times \text{Área del filtro} = 17 \text{ m}^2 \text{ (Según RAS)}$$

Tabla 14. Parámetros de diseño del filtro percolador.

Parámetro	Resultado	Valor según RAS	Observaciones
Geometría	Diámetro= 12 m Profundidad = 9,8 m	Diámetro \leq 60m. Profundidad: 1,5 m - 12 m.	Cumple.
Profundidad del lecho filtrante	6.14 m	3,0 – 12,2 m	Cumple.
Distancia entre brazo distribuidor y medio filtrante	1 m	> 15 cm	Cumple.

Tabla 14. Parámetros de diseño del filtro percolador (Continuación).

Parámetro	Resultado	Valor según RAS	Observaciones
Medio filtrante	Rosetones en PRFV, con una duración de 50 años. Área Superficial $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ Densidad $50 \text{ kg}/\text{m}^3$ Relación de vacíos $> 95 \%$	Medio plástico manufacturado, durable, insoluble y no debe partirse o aportar sustancias no deseables al agua tratada. $82 - 115 \text{ m}^2/\text{m}^3$ Densidad $32,04 - 62,08 \text{ kg}/\text{m}^3$ $> 95 \%$	Cumple.
Carga Hidráulica	54 m/d	14 – 84,2 m/d	Cumple con el RAS 2.000.
Carga Orgánica	$3,44 \text{ kg DBO}/\text{m}^3\text{d}$	$0,5 - 1,6 \text{ kg DBO}/\text{m}^3\text{d}$ $\leq 4,8^{(3)}$	No cumple RAS 2.000, cumple recomendación ⁽³⁾ .
Eficiencia de remoción de DBO, %	82 %	65 – 80 %	Cumple.
Ventilación natural	Drenes inferiores o canales no deben llenarse más del 50%.	Drenes inferiores o canales no deben llenarse más del 50%.	Cumple.
Pozos de ventilación en la periferia	El dren inferior sirve como pozo de ventilación en la periferia.	Pozos de ventilación en la periferia	Cumple.
Drenes con aberturas 15% del área del filtro	17 m^2	$\geq 19 \text{ m}^2$	No cumple.
El volumen aplicado por $\text{m}^2 \leq 10\%$ del volumen calculado.	$54,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$	$\leq 69 \text{ m}^3$	Cumple.

2.7 CLARIFICADOR

As: área superficial, m^2 .

Q_m : caudal medio, L/s.

Q_p : caudal pico, L/s.

CS: carga superficial, m/d.

T: tiempo de retención, h.

Q_d : caudal de diseño, L/s.

V: volumen del clarificador, m^3 .

TMC: tasa másica de carga, $\frac{kg\ SS}{m^2 \cdot d}$.

2.7.1 Carga superficial.

$$Q_m = 142,58 \text{ L/s}^{(2)}$$

$$Q_m = 142,58 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1.000 \text{ L}} \times \frac{86.400 \text{ s}}{1 \text{ d}} = 12.319 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$CS = \frac{Q_m}{As}$$

$$As = \pi \times r^2 = \pi \times 12,5^2 = 491 \text{ m}^2$$

$$CS = \frac{Q_m}{As} = \frac{12.319}{491} = 25 \text{ m/d, entre } 16 - 24 \text{ m/d, No cumple con RAS.}$$

Para que cumpla la CS, el área superficial debe ser mayor, para lo cual se necesita un radio mínimo de 12,8 m.

$$Q_p = 531 \text{ L/s}^{(2)}$$

$$Q_p = 531 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times \frac{86.400 \text{ s}}{\text{d}} = 45.878 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$CS = \frac{Q_m}{As} = \frac{45.878}{491 \times 2} = 47 \frac{\text{m}}{\text{d}}, \text{ entre } 40 - 48 \text{ m/d, Cumple con RAS.}$$

2.7.2 Volumen y Tiempo de retención.

$$V_{total} = V_{cilindro} + V_{cono truncado}$$

$$V_{cilindro} = 2,5 \times 12,5^2 \times \pi = 1.227 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cono truncado}} = \frac{h\pi}{3} (r_1^2 r_2^2 + r_1 r_2) = \frac{1,25 \times \pi}{3} (12,5^2 \times 1,395^2 + 12,5 \times 1,395)$$

$$V_{\text{cono truncado}} = 421 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = 1.227 + 421 = 1.648 \text{ m}^3$$

$$Q_d = 142,58 \text{ L/s} \approx 0,14258 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = \frac{V}{Q} = \frac{1.648 \text{ m}^3}{0,14258 \text{ m}^3/\text{s}} = 3,2 \text{ h}$$

2.7.3 Tasa másica de carga. De acuerdo con la Tabla 4.16 del RAS:

$$Q_d = 142,58 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times \frac{86.400 \text{ s}}{\text{d}} = 12.261,9 \text{ m}^3/\text{d}$$

Un valor típico de producción de sólidos secos totales de acuerdo con el RAS 2.000 (p.E 106) es 72 g SST/m³

$$\text{Lodos secos} = \frac{72 \text{ g} \frac{\text{SST}}{\text{m}^3} \times 12.261,9 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 883 \text{ kg SST/d}$$

$$\text{TMC} = \frac{883 \text{ kg/d}}{491 \text{ m}^2} = 1,8 \frac{\text{kg SS}}{\text{m}^2 * \text{d}}; < 72 - 123 \frac{\text{kg SS}}{\text{m}^2 * \text{d}} \text{ cumple RAS 2.000.}$$

2.7.4 Lodos producidos.

Lodos producidos con 3% de sólidos:

$$\text{Lodos producidos} = \frac{883}{0,03} = 29.433 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \approx 29,4 \text{ m}^3/\text{d}$$

El caudal de lodo que sale de un clarificador y llega al espesador es 29,4 m³/d.

Tabla 15. Parámetros de diseño del clarificador.

Parámetro	Resultado	Valor según RAS	Observaciones
Diámetro	25 m	3 – 60 m	Cumple.
Pendiente de fondo	11,3%	6 – 17 %	Cumple.
Radio no debe exceder la profundidad	4,46 veces	5 veces	Cumple.
Carga superficial caudal promedio	25 m/d	16 – 24 m/d	No cumple.
Carga superficial caudal pico	47	40 – 48 m/d	Cumple.
Tasa másica de carga	$1,8 \frac{kg\ SS}{m^2 * d}$	$72 - 123 \frac{kg\ SS}{m^2 * d}$	Cumple.
Profundidad del tanque	2,8 m	3 – 3,6 m	No cumple.
Tiempo de retención	3,2 h	-	-

2.8 TRATAMIENTO DE LODOS

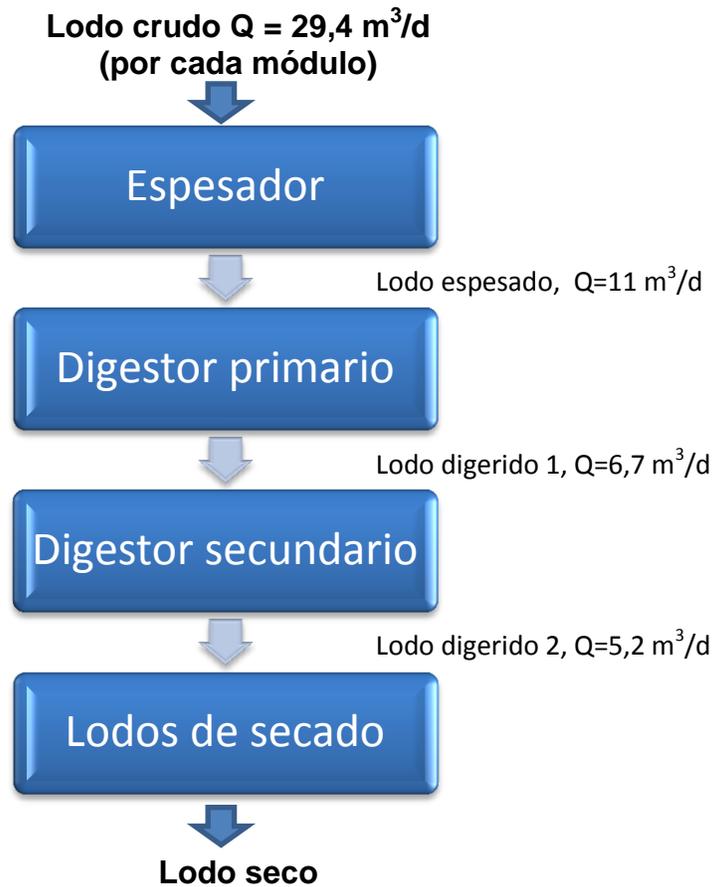


Figura 18. Diagrama de flujo de tratamiento de lodos.

Nomenclatura:

Q_d : caudal de lodos, L/s.

As: área superficial, m^2 .

TDS: tasa de desbordamiento superficial, m/d.

TMC: tasa másica de carga, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \times \text{d}}$.

V: volumen de los lodos, m^3 .

h: altura de la estructura, m.

r: radio de la estructura, m.

T: tiempo de retención, h.

SSV: sólidos volátiles, kg/d.

SSF: sólidos fijos, kg/d.

SST: sólidos totales, kg/d.

TCV SSV: tasa de carga volumétrica para sólidos volátiles, $\frac{\text{kg SSV}}{\text{m}^3 \text{d}}$.

2.8.1 Espesador. Se construyeron 2 espesadores, 1 por cada módulo.

$$Q_d = 29,4 \text{ m}^3/\text{d}$$

2.8.1.1 Lodo crudo. Un valor típico de producción de sólidos secos totales de acuerdo con el RAS 2.000 (p.E 106) es 72 g SST/m^3

$$Q_d = 142,58 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times \frac{86.400 \text{ s}}{\text{d}} = 12.319 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Lodos secos} = \frac{72 \text{ g} \frac{\text{SST}}{\text{m}^3} \times 12.319 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 887 \text{ kg SST/d}$$

$$\text{SSV} = 887 \times 80\% = 710 \text{ kg/d}$$

$$\text{SSF} = 887 \times 20\% = 177 \text{ kg/d}$$

2.8.1.2 Tasa de desbordamiento superficial.

$$A_s = \pi \times r^2 = \pi \times 2,2^2 = 15,2 \text{ m}^2.$$

$$\text{TDS} = \frac{29,4}{15,2} = 1,9 \text{ m/d}, < 16 \text{ m/d cumple con RAS.}$$

2.8.1.3 Tasa de carga másica.

$$\text{TMC} = \frac{887}{15,2} = 58 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \times \text{d}}, \text{ Segùn RAS se recomienda entre } 40 - 50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \times \text{d}}.$$

El diámetro mínimo que debe tener la estructura para que cumpla con la tasa de carga másica es de 4,8 m.

2.8.1.4 Tiempo de retención.

$$T = \frac{V}{Q_d} = \frac{\pi \times 2,2^2 \times 2}{29,4} = 1 \text{ d}$$

2.8.1.5 Lodos producidos. Lodos con el 8% de sólidos, se toma como un valor conservador.

$$\text{Lodos producidos} = \frac{887}{0,08} = 11.088 \text{ kg/d de lodos} \approx 11 \text{ m}^3 / \text{d, de lodos.}$$

El caudal de lodo que produce cada espesador es de $11 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$.

Tabla 16. Parámetros de diseño del espesador.

Parámetro	Resultado	Valor según RAS	Observaciones
Tasa de desbordamiento superficial	1,9 m/d	< 16 m/d	Cumple.
Tasa de carga másica	58 kg/m ² x d	40 – 50 kg/m ² x d	No cumple.
Altura	2 m	2 – 5 m	Cumple.
Profundidad de almacenamiento	La zona de alimentación se encuentra en la cubierta del espesador.	La zona de alimentación debe estar por encima del manto de lodos.	Cumple.
Control de olores	El espesador está ubicado cerca a las otras estructuras de tratamiento.	El espesador debe estar retirado de la PTAR, a 300 m para el control de olores.	No cumple.
Tiempo de retención	1 d	-	-

2.8.2 Digestor primario. Se construyeron 2 digestores primarios, 1 por cada módulo.

$$Q_d = 11 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

2.8.2.1 Volumen y tiempo de retención

$$V = \pi \times r^2 \times h = \pi \times 2,85^2 \times 4,35 = 111 \text{ m}^3$$

$$T = \frac{111}{11} = 10 \text{ d; } 10 - 20 \text{ d para digestores de alta tasa según RAS 2.000.}$$

2.8.2.2 Tasa de carga volumétrica de sólidos volátiles.

Eficiencia = 30%, tomada como un valor conservador.

Lodo con 10% de sólidos, tomado como un valor conservador.

$$SSV = 710 \times 0,70 = 497 \frac{\text{kg SSV}}{\text{d}}$$

$$TCV SSV = \frac{497}{111} = 4,5 \frac{\text{kg SSV}}{\text{m}^3 \text{d}}, \text{Cumple } 1,6 - 4,8 \frac{\text{kg SSV}}{\text{m}^3 \text{d}} \text{ según RAS 2.000.}$$

2.8.2.3 Lodos producidos

$$SSF = 177 \frac{\text{kg SSF}}{\text{d}}$$

$$SST = 497 + 177 = 674 \text{ kg} \frac{SST}{\text{d}}$$

$$\text{Lodos producidos} = \frac{674}{0,10} = 6.740 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \approx 6,7 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

2.8.2.4 Sobrenadantes. Para sacar sobrenadantes se instalaron válvulas fijas de tal manera que se pudiera controlar su salida por cada estructura, válvulas que están retiradas lo máximo posible de la salida. Los sobrenadantes se recirculan desde el inicio de la planta, llegando estos al tanque de igualación.

Tabla 17. Parámetros de diseño del digester primario.

Parámetro	Resultado	Valor según RAS	Observaciones
Volumen	111 m ³	≥ 111 m ³	Cumple.
Tiempo de retención	10 d	10 – 20 d, para alta tasa	Cumple.
Tasa de carga volumétrica	4,5 kg SSV/m ³ x d	1,6 – 4,8 kg SSV/m ³ x d	Cumple.
Sobrenadantes	Diámetro de tubería 1 ½"	≥ 6"	No cumple.
Sobrenadantes	3 Niveles de remoción.	≥ 3 Niveles de remoción.	Cumple.

Tabla 17. Parámetros de diseño del digestor primario (continuación).

Parámetro	Resultado	Valor según RAS	Observaciones
Sobrenadantes	No tiene tubería de emergencia para salida de sobrenadantes.	Tubería de emergencia para salida de sobrenadantes, sin válvula.	No cumple.
Pendiente de fondo	1 : 10	Mínimo 1: 14	No cumple.
Registros de inspección	1 unidad de 80cm de diámetro.	2 unidades de 90cm de diámetro.	No cumple.

2.8.3 Digestor secundario Se construyeron 2 digestores secundarios, 1 por cada módulo.

$$Q_d = 6,7 \frac{m^3}{d}$$

2.8.3.1 Volumen y tiempo de retención.

$$V = \pi \times r^2 \times h = \pi \times 2,85^2 \times 4,35 = 111 m^3$$

$$T = \frac{111}{6,7} = 16,6 \text{ d}; 10 - 20 \text{ d para digestores de alta tasa según RAS 2.000.}$$

2.8.3.2 Tasa de carga volumétrica de sólidos volátiles.

Eficiencia = 30%, se toma un valor conservador.

Lodo con 10% de sólidos, se toma un valor conservador.

$$SSV = 497 \times 0,70 = 348 \frac{kg \text{ SSV}}{d}$$

$$SSF = 177 \frac{kg \text{ SSF}}{d}$$

$$SST = 348 + 177 = 525 \text{ kg SST/ d}$$

$$TCV \text{ SSV} = \frac{525}{111} = 4,7 \frac{kg \text{ SSV}}{m^3 d}, \text{ Cumple } 1,6 - 4,8 \frac{kg \text{ SSV}}{m^3 d} \text{ según RAS 2.000.}$$

2.8.3.3 Lodos producidos

$$\text{Lodos producidos} = \frac{525}{0,10} = 5.250 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \approx 5,2 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

El caudal de lodo producido por cada digester secundario es $5,2 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$

2.8.3.4 Sobrenadantes Para sacar sobrenadantes se instalaron válvulas fijas de tal manera que se pudiera controlar su salida por cada estructura, válvulas que están retiradas lo máximo posible de la salida.

Los sobrenadantes se recirculan desde el inicio de la planta, llegando estos al tanque de igualación.

Tabla 18. Parámetros de diseño del digester secundario.

Parámetro	Resultado	Valor según RAS	Observaciones
Volumen	111 m ³	≥ 111 m ³	Cumple.
Tiempo de retención	16,6 d	10 – 20 d, para alta tasa	Cumple.
Tasa de carga volumétrica	4,7 kg SSV/m ³ x d	1,6 – 4,8 kg SSV/m ³ x d	Cumple.
Sobrenadantes	Diámetro de tubería 1 ½"	≥ 6"	No cumple.
	No tiene tubería de emergencia para salida de sobrenadantes.	Tubería de emergencia para salida de sobrenadantes, sin válvula.	No cumple.
Sobrenadantes	3 Niveles de remoción.	≥ 3 Niveles de remoción.	Cumple.
Pendiente de fondo	1 : 10	Mínimo 1: 14	No cumple.
Registros de inspección	1 unidad de 80cm de diámetro.	2 unidades de 90cm de diámetro.	No cumple.

2.8.4 Lechos de secado de lodos. Se construyeron 2 unidades de lechos de secado de lodos de 36,20 m de longitud por 5,0 m de ancho.

TMC: tasa de carga másica, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$.

2.8.4.1 Geometría.

$Q_d = 5,2 \frac{m^3}{d}$, por cada digester secundario, el total de lodo producido es $10,4 \frac{m^3}{d}$.

Asumiendo una altura útil de 0,3 m y un tiempo de secado de 10 días, el volumen producido es $104 m^3$:

$$A = \frac{104}{0,3} = 347 m^2$$

$$\text{Área construida} = 36,2 \times 5 \times 2 = 362 m^2$$

Los 2 lechos de secado construidos con dimensiones de 5 m de ancho por una longitud de 36,2 m, cumplen con el área requerida para el volumen de lodo producido.

2.8.4.2 Tasa de carga másica.

$$TCM = \frac{525 \times 2 \times 360}{362} = 1.044 \frac{kg}{m^2 \times \text{año}}, > 110 \frac{kg}{m^2 \times \text{año}} \text{ No cumple con RAS 2.000.}$$

Tabla 19. Parámetros de diseño de los lechos de secado.

Parámetro	Resultado	Valor según RAS	Observaciones
Tasa de carga másica	$1.044 kg/m^2 \times \text{año}$	$110 kg/m^2 \times \text{año}$	No cumple.
Espesores	Capa de grava 0,35 m	Capa de grava 0,2 – 0,46 m	Cumple.
	Capa de arena 0,40 m	Capa de arena 0,3 – 0,46 m	Cumple.
Drenaje	Filtro de 0,4 m de ancho, con grava y pendiente del 1 %.	Tubería de 100 mm de diámetro con pendiente del 1 %.	Cumple.

3 RESULTADOS DE OPERACIÓN

3.1 MUESTREO

Se realizaron 2 muestreos compuestos del afluente y del efluente, (figura 18), el día 15 de agosto y 4 de septiembre del año en curso, durante 8 horas continuas. Las muestras compuestas fueron conformadas por la mezcla de muestras individuales recolectadas cada hora, las cuales se refrigeraron, con el fin de evitar la alteración, hasta realizar la composición al final de la jornada; esta composición se realizó recolectando volúmenes de muestra proporcionales al caudal del vertimiento. La muestra fue envasada en los recipientes debidamente rotulados y preservados, los cuales se trasladaron al laboratorio para realizar los análisis de interés ⁽¹⁹⁾.

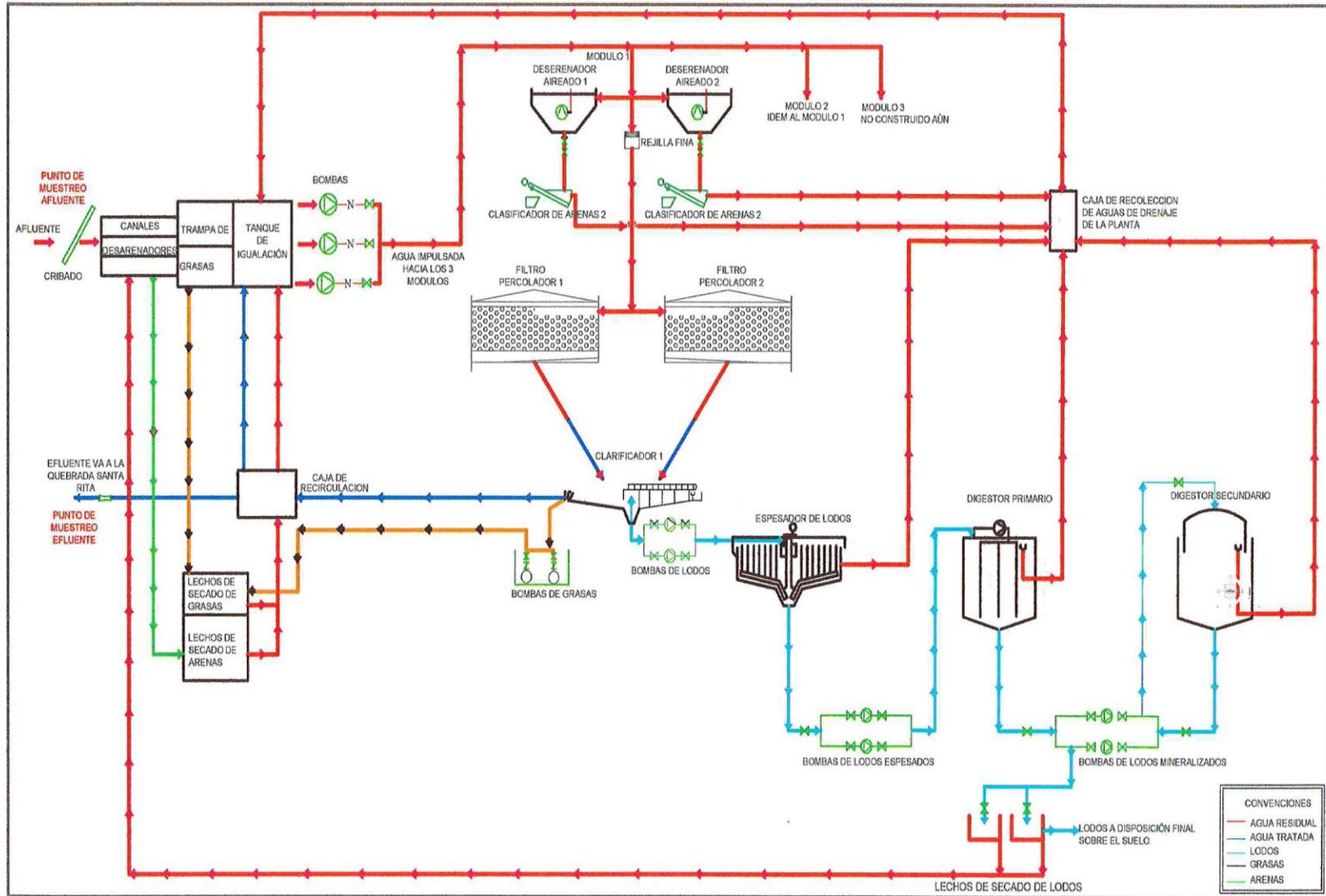


Figura 19. Ubicación de puntos de muestreo en diagrama de flujo ⁽²⁾.

3.2 MEDICIONES IN-SITU

3.2.1 Pruebas realizadas el 15 de agosto de 2.015.

Tabla 20. Comparación de resultados con resolución 0631 de 2.015 ⁽¹⁹⁾.

Parámetro	Unidades	Afluyente		Efluente		% Eficiencia	Resolución 0631 de 2.015	Observación
		Valor	Carga kg/día	Valor	Carga kg/día			
Coliformes fecales	NMP/100 mL	58.000.000	N/A	34.000.000	N/A	41	N.E	N/A
Coliformes totales	NMP/100 mL	178.000.000	N/A	152.000.000	N/A	15	N.E	N/A
DBO	mg/L	221	1.088	53	261	76	70	Cumple
DQO	mg/L	645	3.177	223	1.098	65	150	No cumple
Grasas y aceites	mg/L	123	606	18	89	85	10	No cumple
Nitratos	mg/L	2,3	11	2,2	11	2,7	Análisis y reporte	N/A
Nitritos	mg/L	0,007	0,03	0,007	0,03	0,00	Análisis y reporte	N/A
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	106	521	48	237	54	Análisis y reporte	N/A
Sólidos disueltos totales	mg/L	548	2.699	490	2.413	10	N.E	N/A
Sólidos suspendidos totales	mg/L	208	1.024	46	227	78	70	Cumple
Tenso activos	mg/L	7	34	4,6	22,8	34	N.E	N/A
Turbiedad	UNT	205	1.010	35	N/A	83	N.E	N/A
Caudal promedio	L/s	57	N/A	57	N/A		N.E	N/A
Conductividad	μS/cm	937	N/A	447	N/A	52	N.E	N/A
Oxígeno disuelto	mg/L	1,6	N/A	2,7	N/A		N.E	N/A
pH	Unidades	7,5	N/A	7,6	N/A		6 – 9	Cumple
Sólidos sedimentables	mL/L	7,3	N/A	0,1	N/A	99	5	Cumple
Temperatura	° C	24,3	N/A	24,3	N/A		N.E	N/A

3.2.2 Pruebas realizadas el 4 de septiembre de 2.015.

Tabla 21. Comparación de resultados con resolución 0631 de 2.015 ⁽¹⁹⁾.

Parámetro	Unidades	Afluente		Efluente		% Eficiencia	Resolución 0631 de 2.015	Observación
		Valor	Carga kg/día	Valor	Carga kg/día			
Coliformes fecales	NMP/100 mL	170.000.000	N/A	20.000.000	N/A	88	N.E	N/A
Coliformes totales	NMP/100 mL	1.400.000.000	N/A	110.000.000	N/A	92	N.E	N/A
DBO	mg/L	222	1.093	62	305	72	70	Cumple
DQO	mg/L	680	3.349	300	1.477	56	150	No cumple
Grasas y aceites	mg/L	74	364	30	148	59	10	No cumple
Nitratos	mg/L	2,8	14	1,58	8	43	Análisis y reporte	N/A
Nitritos	mg/L	< 0,007	0,03	<0,007	0,03	0,0	Análisis y reporte	N/A
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	36	178	41	200		Análisis y reporte	N/A
Sólidos disueltos totales	mg/L	498	2.453	520	2.561		N.E	N/A
Sólidos suspendidos totales	mg/L	232	1.143	73	360	69	70	No cumple
Tenso activos	mg/L	14	70	6,1	30	57	N.E	N/A
Turbiedad	UNT	198	975	65	N/A	67	N.E	N/A
Caudal promedio	L/s	57	N/A	57	N/A		N.E	N/A
Conductividad	μS/cm	793	N/A	865	N/A		N.E	N/A
Oxígeno disuelto	mg/L	1,1	N/A	2,5	N/A		N.E	N/A
pH	Unidades	7,6	N/A	7,7	N/A		6 – 9	Cumple
Sólidos sedimentables	mL/L	6,3	N/A	1,1	N/A	83	5	Cumple
Temperatura	° C	25	N/A	25,6	N/A		N.E	N/A

3.2.3 Promedio de pruebas realizadas el 15 de agosto y el 4 de septiembre.

Tabla 22. Comparación de resultados con resolución 0631 de 2.015 ⁽¹⁹⁾.

Parámetro	Unidades	Afluente			Efluente			% Eficiencia	Resolución 0631 de 2.015	Observación
		15/08/2.015	4/09/2.015	Promedio	15/08/2014	4/09/2.015	Promedio			
Coliformes fecales	NMP/100 mL	58.000.000	170.000.000	114.000.000	34.000.000	20.000.000	27.000.000	76	N.E	N/A
Coliformes totales	NMP/100 mL	178.000.000	1.400.000.000	789.000.000	152.000.000	110.000.000	131.000.000	83	N.E	N/A
DBO	mg/L	221	222	222	53	62	58	74	70	Cumple
DQO	mg/L	645	680	663	223	300	262	61	150	No cumple
Grasas y aceites	mg/L	123	74	99	18	30	24	76	10	No cumple
Nitratos	mg/L	2,3	2,8	2,5	2,2	1,58	1,9	25	Análisis y reporte	N/A
Nitritos	mg/L	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,01	0,00	Análisis y reporte	N/A
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	106	36	71	48	41	44	37	Análisis y reporte	N/A
Sólidos disueltos totales	mg/L	548	498	523	490	520	505	3,4	N.E	N/A
Sólidos suspendidos totales	mg/L	208	232	220	46	73	60	73	70	Cumple
Tensoactivos	mg/L	7	14	10,6	4,6	6,1	5,4	49	N.E	N/A
Turbiedad	UNT	205	198	201,5	35	65	50	75	N.E	N/A
Caudal promedio	L/s	57	57	57	57	57	57		N.E	N/A
Conductividad	μS/cm	937	793	865	447	865	656	24	N.E	N/A
Oxígeno disuelto	mg/L	1,6	1,1	1,3	2,7	2,5	2,6		N.E	N/A
pH	Unidades	7,5	7,6	7,6	7,6	7,7	7,6		6 - 9	Cumple
Sólidos sedimentables	mL/L	7,3	6,3	6,8	0,1	1,1	0,6	91	5	Cumple
Temperatura	° C	24,3	25	24,6	24,3	25,6	24,9		N.E	N/A

N.E: Valor no establecido por la resolución 0631 de 2.015.

N/A: No aplica.

La lectura de los sólidos sedimentables se realizó una hora después de la alícuota analizada, la muestra puntual de coliformes fecales, coliformes totales y grasas y aceites fue tomada a las 12:25 horas ⁽¹⁹⁾.

3.2.3.1 Coliformes fecales. Los organismos patógenos que pueden existir en aguas residuales, son pocos y difíciles de aislar e identificar, por tal razón se prefiere a los coliformes como organismo indicador de contaminación o productores de enfermedad ⁽³⁾.

Con excepción de algunas cepas de coliformes fecales entero patógenos que causan diarrea, los coliformes no son patógenos para el hombre; sin embargo los coliformes pueden aceptar y transferir genes resistentes a los medicamentos por lo tanto hace necesaria su eliminación ⁽³⁾.

El promedio de las 2 pruebas de laboratorio realizadas el 15 de agosto y el 4 de septiembre, dan como resultado en coliformes fecales en el afluente 114.000.000 NPM/100 mL, el cual es un valor alto en aguas residuales domésticas ⁽³⁾, el promedio en el efluente es de 27.000.000 NPM/100 mL, por lo anterior la eficiencia en la remoción es del 76 %, la remoción en este tratamiento es alta si lo comparamos con el RAS 2.000.

3.2.3.2 Coliformes totales. En este grupo coli-aerogenes, incluye los géneros Escherichia y Aerobacter, siendo Escherichia, especie E. coli, como la población de bacterias coliformes más representativas de contaminación fecal; Aerobacter y algunas Escherichia pueden crecer en el suelo, lo cual implica que la presencia de coliformes totales no representan necesariamente la contaminación fecal ⁽³⁾.

El promedio de las 2 pruebas de laboratorio realizadas el 15 de agosto y el 4 de septiembre dan como resultado en coliformes totales en el afluente 789.000.000 NPM/100 mL, el cual es un valor alto en aguas residuales domésticas ⁽³⁾, el promedio en el efluente es de 131.000.000 NPM/100 mL, por lo anterior la eficiencia en la remoción es del 83 %, esta es una remoción alta, ya que con el tratamiento propuesto debería ser casi despreciable de acuerdo con el RAS 2.000.

3.2.3.3 DBO. La demanda bioquímica de oxígeno usual para aguas residuales domésticas es de 220 mg/L ⁽³⁾, el valor promedio de las 2 pruebas realizadas en el afluente fue de 222 mg/L, lo cual indica que está dentro de los valores típicos ⁽³⁾.

El promedio de la demanda bioquímica de oxígeno en el efluente de la PTAR es de 58 mg/L, el valor máximo permisible de DBO a la salida es de 70 mg/L de

acuerdo con la resolución 0631 de 2.015, por lo tanto se está cumpliendo con esta recomendación. La eficiencia calculada es del 74 %, de acuerdo con el RAS 2.000 las eficiencias típicas para tratamiento con filtro percolador se encuentran entre el 65-85 %, por lo tanto cumple.

3.2.3.4 DQO. Un valor típico para la demanda química de oxígeno en aguas residuales domésticas es de 400 mg/L ⁽³⁾, el valor promedio de las dos muestras tomadas en el afluente los días 15 de agosto y 4 de septiembre fue de 663 mg/L, es un valor alto si lo comparamos con el valor típico.

El valor promedio de demanda química de oxígeno en el efluente de las 2 muestras es de 262 mg/L, el máximo valor permisible de acuerdo con la resolución 0631 de 2.015 es de 150 mg/L, por consiguiente no cumple con esta condición; la eficiencia de remoción con la que cuenta la planta para remover este contaminante es del 61 %, valor que está dentro de los valores típicos de eficiencia 60 – 85 %, de acuerdo con el RAS 2.000.

3.2.3.5 Grasas y aceites. Son compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno que flotan en el agua residual, recubren las superficies con las cuales entran en contacto, causan iridiscencia, problemas de mantenimiento y son difíciles de degradar ⁽³⁾.

Un valor normal de contenido de grasas y aceites en aguas residuales domésticas es de 100 mg/L ⁽³⁾, el valor promedio de las 2 pruebas realizadas en el afluente es de 99 mg/L, el cual es un valor aceptable en aguas residuales domésticas.

El valor promedio de grasas y aceites a la salida de la PTAR es de 24 mg/L, el valor sugerido en la resolución 0631 de 2.015 es de 10 mg/L, por tal motivo no está cumpliendo con este parámetro, aunque la eficiencia de remoción es muy buena del 76 %.

3.2.3.6 Nitrógeno. Es un nutriente esencial para el crecimiento de protistas y plantas, en aguas residuales se presenta en forma de nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal, también evalúa la tratabilidad de las aguas residuales por tratamientos biológicos ⁽³⁾.

La forma predominante del nitrógeno en aguas residuales frescas es el nitrógeno orgánico, el cual se descompone en nitrógeno amoniacal y si el medio es aerobio en nitritos y nitratos ⁽³⁾.

La resolución 0631 de 2.015 no establece un valor máximo permisible para el vertido.

3.2.3.6.1 Nitrógeno amoniacal. Es el nitrógeno existente en solución como amoniaco o como ion amonio, depende del pH de la solución, si éste se encuentra por debajo de 9 puede predominar el ion amonio ⁽³⁾.

En aguas residuales domésticas la concentración de nitrógeno amoniacal típico normalmente es de 25 mg/L ⁽³⁾, el valor promedio de las 2 pruebas de laboratorio en el afluente fue de 71 mg/L, es un valor muy alto si lo comparamos con el valor típico encontrado.

El valor promedio de las dos pruebas de nitrógeno amoniacal a la salida de la PTAR es de 44 mg/L; la eficiencia de este tratamiento para remover este parámetro es del 37 %, comparado con el RAS 2.000 es muy bueno ya que normalmente esta remoción está entre 8 - 15 % para este tratamiento; el pH del agua es menor que 9 por lo tanto puede predominar el ion amonio, el cual desoxigena el agua, es tóxico para organismos acuáticos y puede ocasionar el crecimiento de algas.

La resolución 0631 de 2.015 no establece un valor máximo permisible para el vertido.

3.2.3.6.2 Nitratos. El predominio de nitratos indica que el residuo se ha nitrificado, también son utilizados por organismos como las algas para formar proteínas de crecimiento y en tal caso podría necesitarse la remoción de nitrógeno.

La concentración de nitratos en aguas residuales domésticas es normalmente menor a 1 mg/L ⁽³⁾, el valor promedio de las 2 pruebas realizadas en el laboratorio en el afluente para este parámetro fue de 2,5 mg/L; en el efluente el valor promedio de las 2 pruebas fue de 1,9 mg/L; la eficiencia de remoción calculada es del 25 %, se considera alta de acuerdo con el RAS 2.000. No se encuentra predominio de nitratos por lo tanto se concluye que el residuo no se ha nitrificado.

La resolución 0631 de 2.015 no establece un valor máximo permisible para el vertido.

3.2.3.6.3 Nitritos. La concentración de nitritos en aguas residuales domésticas el valor normal es menor a 1 mg/L ⁽³⁾; el valor promedio de las 2 pruebas en el afluente y efluente es < 0,007 mg/L, por lo tanto está dentro de los valores normales.

La resolución 0631 de 2.015 no establece un valor máximo permisible para el vertido.

3.2.3.7 Sólidos disueltos totales. Un valor típico en aguas residuales domésticas es de 500 mg/L ⁽³⁾, el valor promedio de las 2 muestras en el afluente es de 523 mg/L, lo cual quiere decir que es un valor aceptable; en el efluente el valor promedio fue de 505 mg/L, con una eficiencia de remoción de 3,4 %.

La resolución 0631 de 2.015 no establece un valor máximo permisible para el vertido.

3.2.3.8 Sólidos suspendidos totales. Afectan la turbiedad del agua y terminan por sedimentarse en el fondo ocasionando un crecimiento béntico, toxicidad y demanda de oxígeno de los sedimentos ⁽¹⁷⁾.

Un valor típico en aguas residuales domésticas es de 220 mg/L ⁽³⁾, el valor promedio de las 2 pruebas de laboratorio realizadas en el afluente es de 220 mg/L, lo cual quiere decir que está dentro de los valores normales.

El valor promedio de las 2 muestras en el efluente es 60 mg/L, la resolución 0631 de 2.015 establece como valor máximo del parámetro 70 mg/L, cumpliendo con este requerimiento; la eficiencia de remoción de este parámetro es de 73 %, de acuerdo con el RAS 2.000 la eficiencia típica de remoción de este parámetro está entre el 65 – 85 % para este tratamiento, por lo tanto se considera una buena eficiencia.

3.2.3.9 Tensoactivos o detergentes. Compuestos por moléculas orgánicas grandes, polares, solubles en agua y aceites, disminuyen la tensión superficial del agua donde se encuentran disueltos; inhiben la actividad biológica disminuyen la solubilidad del oxígeno ⁽³⁾.

El valor promedio de las 2 pruebas realizadas en el laboratorio del afluente es de 10,6 mg/L, un valor típico de detergentes es de 12 mg/L ⁽³⁾, por lo tanto es un valor aceptable y el valor promedio de las 2 muestras tomadas en el efluente fue de 5,4 mg/L, la resolución no establece valores máximos del contenido de este parámetro para vertimientos.

La eficiencia de remoción de detergentes es de 49,34 %, el RAS no establece porcentajes de eficiencia para este parámetro.

3.2.3.10 Turbiedad. El valor promedio de las 2 muestras realizadas en el efluente de la PTAR dio como resultado 50 UNT, si lo comparamos con el título C del RAS 2.000, caracterización de la fuente de agua cruda, con el fin de tener un punto de referencia, este valor está dentro del rango establecido entre 40 - 150 UNT rango

considerado como fuente de agua cruda deficiente; la eficiencia calculada de remoción de turbiedad es de 75 % que se considera buena.

3.2.3.11 Caudal.

Tabla 23. Caudal afluente (5 de agosto de 2.015), medido en el vertedero Sutro.

Hora	Caudal L/s
6:30	36
7:30	57
8:30	57
9:30	57
10:30	64
11:30	64
12:30	61
13:30	60
14:30	57
-	Promedio 57

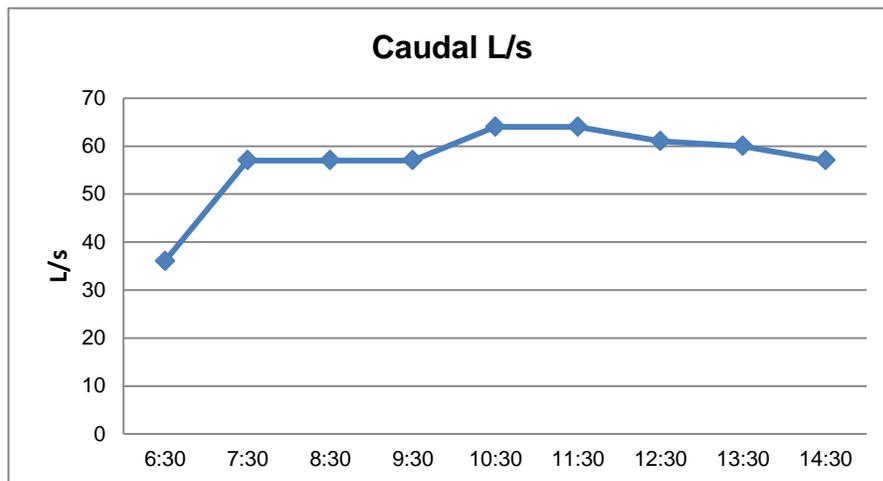


Figura 20. Variación de caudal en el Tiempo (5 de agosto de 2.015).

Dentro del intervalo de tiempo en el que se hicieron las mediciones del caudal de llegada a la PTAR, se observa que este tiene un ascenso gradual desde las 6:30 A.M. con 36 L/s hasta las 7:30 A.M. con un caudal de 57 L/s, donde se mantiene constante hasta las 9:30 A.M.; entre las 10:30 A.M. y 11:30 A.M., se presenta la mayor producción de agua residual que corresponde a 64 L/s y va bajando progresivamente hasta la última medición que fue a las 2:30 P.M., que fue el último aforo.

El caudal promedio es de 57 L/s, la relación entre caudal máximo y el caudal promedio es de 1,22 y la relación entre el caudal mínimo y el caudal promedio es de 0,63.

3.2.3.12 pH.

Tabla 24. Datos de pH (5 de agosto de 2.015).

Afluente		Efluente	
Hora	pH Unidades	Hora	pH Unidades
6:30	7,43	6:25	7,32
7:30	7,72	7:25	7,60
8:30	7,63	8:25	7,33
9:30	7,46	9:25	7,39
10:30	7,34	10:25	7,35
11:30	7,57	11:25	7,64
12:30	7,46	12:25	7,64
13:30	7,46	13:25	7,77
14:30	7,55	14:25	7,88
-	Intervalo 7,34 - 7,72	-	Intervalo 7,32 - 7,88

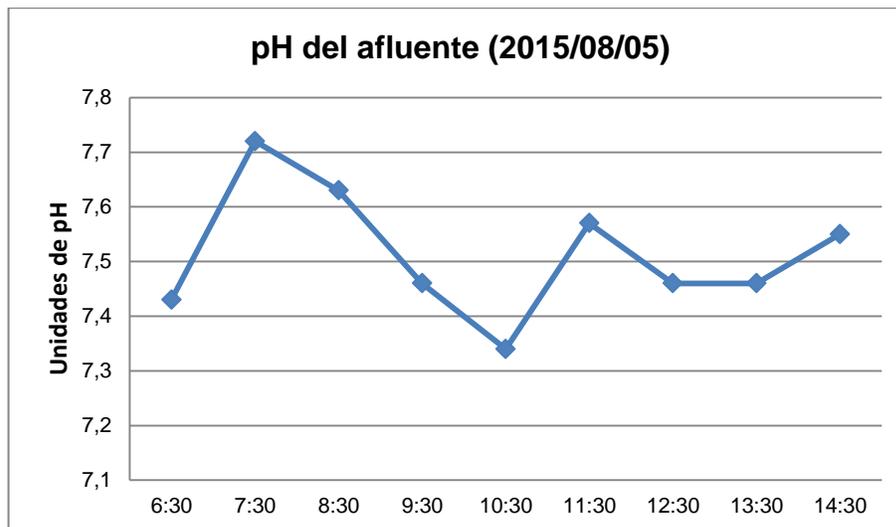


Figura 21. pH en el afluente en la PTAR La Marina.

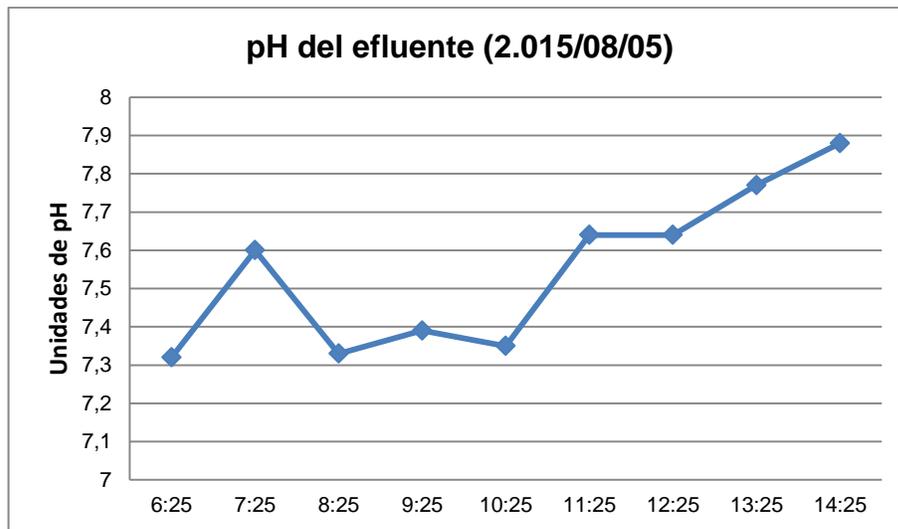


Figura 22. pH en el efluente en la PTAR La Marina.

Las aguas residuales con concentración adversa del ion Hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente, alteran el material biológico de las fuentes receptoras y eventualmente puede ser fatal para los microorganismos ⁽³⁾.

El valor de pH adecuado para diferentes procesos de tratamiento y para la existencia de la mayoría de la vida biológica puede estar entre 6,5 y 8,5 ⁽³⁾.

De acuerdo con la resolución 0631 de 2.015, el valor de pH debe estar entre 6 y 9, el valor de pH en el efluente y efluente es de 7,6, por lo tanto cumple con lo establecido en la resolución.

3.2.3.13 Temperatura. Es un parámetro muy importante en aguas residuales, por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento, así como el método de disposición final ⁽³⁾.

La temperatura afecta y altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de reacciones químicas y de la actividad bacteriana ⁽³⁾.

La temperatura óptima para la actividad bacteriana debe estar entre 25°C y 35°C ⁽³⁾, podemos observar que la temperatura promedio en el afluente fue de 24,6 °C y en el efluente de 24,93 °C, la cual se considera que es favorable para el proceso de tratamiento.

Tabla 25. Datos de temperatura (5 de agosto de 2.015).

Afluyente		Efluente	
Hora	Temperatura °C	Hora	Temperatura °C
6:30	23,1	6:25	22,5
7:30	23,4	7:25	22,5
8:30	23,8	8:25	23,0
9:30	24,0	9:25	23,7
10:30	24,3	10:25	24,2
11:30	24,7	11:25	25,3
12:30	25,4	12:25	25,4
13:30	25,2	13:25	25,9
14:30	24,7	14:25	26,1
-	Intervalo 23,1 - 25,4	-	Intervalo 22,5 - 26,1

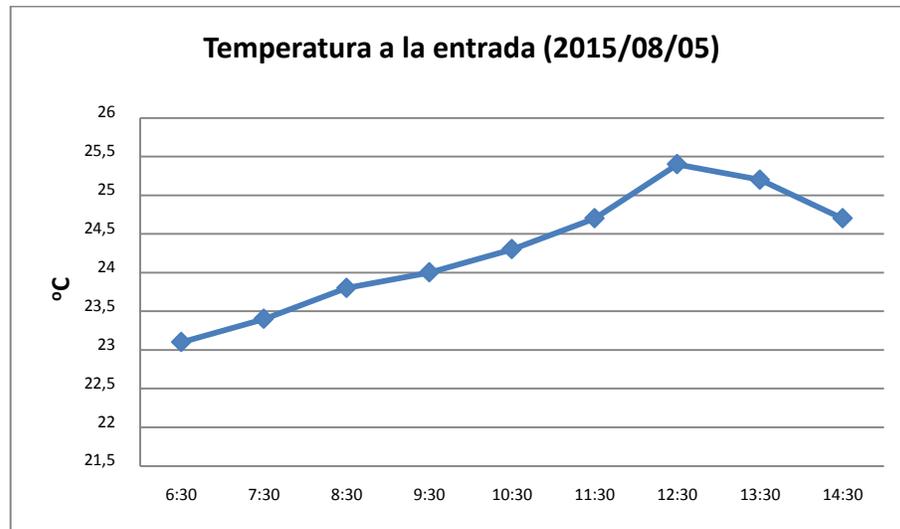


Figura 23. Temperatura en el afluyente de la PTAR La Marina.

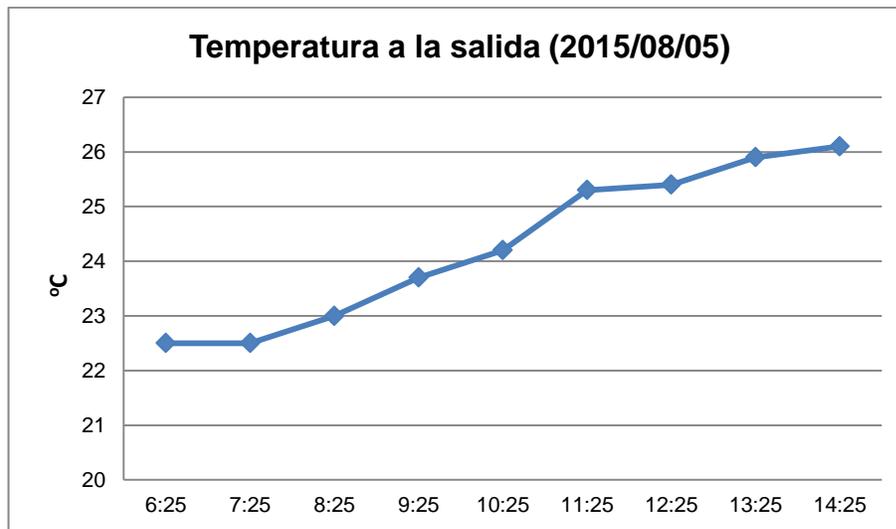


Figura 24. Temperatura en el efluente de la PTAR La Marina.

3.2.3.14 Sólidos sedimentables. Los sólidos sedimentables son la medida en volumen de los sólidos asentados en el fondo de un cono Imhoff, en un periodo de una hora y representan la cantidad de lodo removible por sedimentación simple ⁽³⁾.

La determinación de los sólidos sedimentables es básica para establecer la necesidad del diseño de tanques de sedimentación como unidades de tratamiento y controlar la eficiencia ⁽²³⁾.

Tabla 26. Datos de sólidos sedimentables (5 de agosto de 2.015).

Afluente		Efluente	
Hora	Sólidos sedimentables mL/L	Hora	Sólidos sedimentables mL/L
6:30	1,5	6:25	< 0,1
7:30	10	7:25	0,1
8:30	10	8:25	< 0,1
9:30	13	9:25	< 0,1
10:30	11	10:25	< 0,1
11:30	5,5	11:25	< 0,1
12:30	6,5	12:25	< 0,1
13:30	5,5	13:25	< 0,1
14:30	-	14:25	-
-	Intervalo 1,5-13,0	-	Intervalo < 0,1-0,1

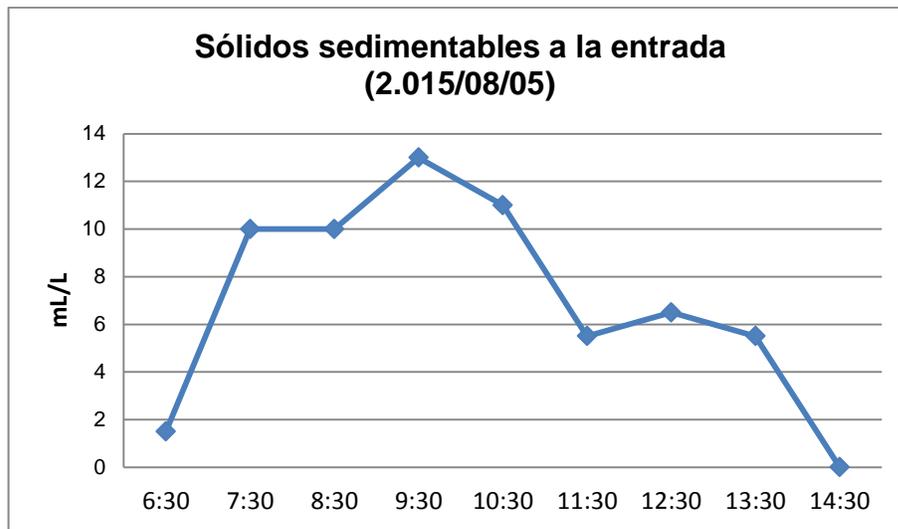


Figura 25. Sólidos sedimentables en el afluente de la PTAR La Marina.

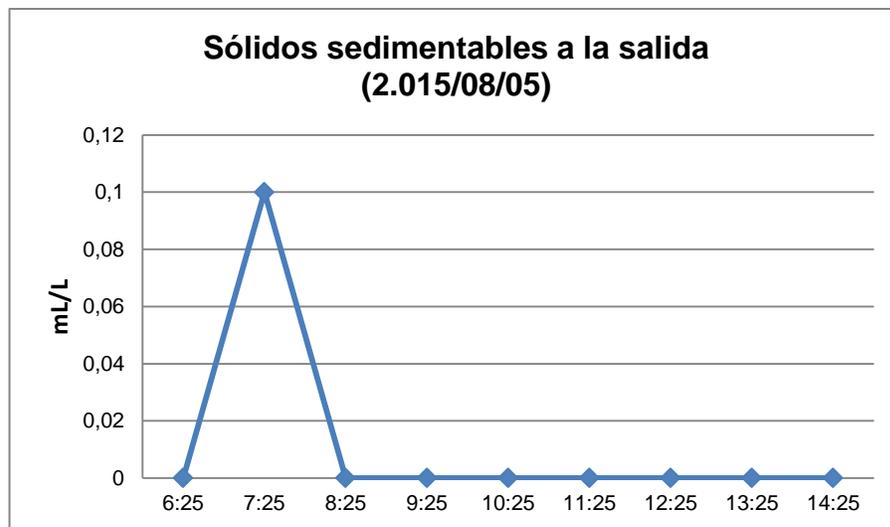


Figura 26. Sólidos sedimentables en el efluente de la PTAR La Marina.

El valor promedio de los sólidos sedimentables a la salida de la PTAR es 0,58 mL/L, cumpliendo con la resolución 0631 de 2.015 que sugiere que sea menor a 5mL/L, adicionalmente la eficiencia de remoción es de 98,15 % que es muy buena si lo comparamos con los valores típicos de eficiencia de acuerdo con el RAS 2.000 los cuales se encuentran entre 65-85 %.

3.2.3.15 Conductividad. La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica que depende de la

concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se determinen ⁽²⁴⁾.

Tabla 27. Datos de conductividad (5 de agosto de 2.015).

Afluente		Efluente	
Hora	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$	Hora	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$
6:30	711	6:25	58,2
7:30	1163	7:25	751
8:30	1119	8:25	767
9:30	1052	9:25	784
10:30	969	10:25	788
11:30	832	11:25	810
12:30	839	12:25	809
13:30	744	13:25	832
14:30	710	14:25	836
-	Intervalo 710 - 1163	-	Intervalo 58.2 - 836

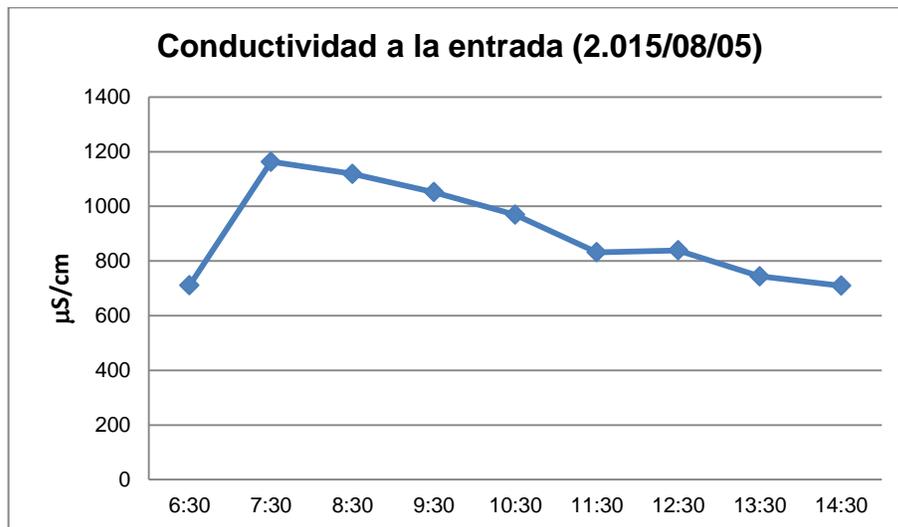


Figura 27. Conductividad en el afluente de la PTAR La Marina.

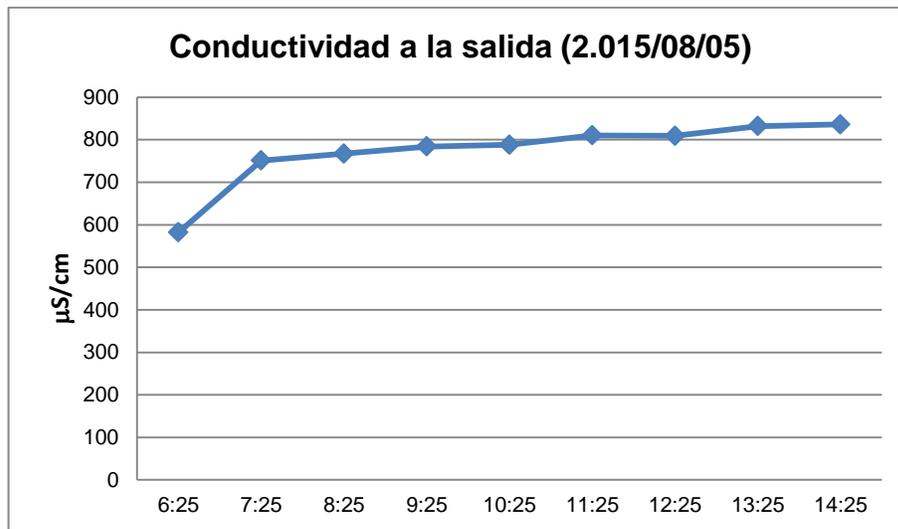


Figura 28. Conductividad en el efluente de la PTAR La Marina.

Los valores de conductividad aumentan por la absorción de dióxido de carbono y amoníaco ⁽²⁴⁾.

El valor promedio de conductividad de las pruebas realizadas a la salida de la PTAR es de $656 \frac{\mu S}{cm}$, la resolución 0631 de 2.015 no especifica un valor permisible, pero teniendo un punto de comparación, el decreto 475 de 1.998 da valores admisibles para agua potable entre $50 - 1.000 \frac{\mu S}{cm}$; por lo tanto se concluye que el valor de conductividad a la salida de la PTAR es aceptable.

3.2.3.16 Oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto es un gas de baja solubilidad en el agua, requerido para la vida acuática aerobia, la baja disponibilidad de oxígeno disuelto limita la capacidad purificadora de cuerpos de agua; la concentración de oxígeno disuelto es función de la temperatura, de la presión atmosférica y de la salinidad del agua. En general todo proceso aeróbico requiere una concentración de oxígeno disuelto mayor a $0,5 \text{ mg/L}$ ⁽³⁾.

Tabla 28. Datos de oxígeno disuelto (5 de agosto de 2.015).

Afluente		Efluente	
Hora	Oxígeno disuelto mg/L	Hora	Oxígeno disuelto mg/L
6:30	3,00	6:25	2,40
7:30	0,20	7:25	2,60
8:30	0,10	8:25	2,80

Tabla 28. Datos de oxígeno disuelto (5 de agosto de 2.015) Continuación.

Afluente		Efluente	
Hora	Oxígeno disuelto mg/L	Hora	Oxígeno disuelto mg/L
9:30	0,20	9:25	3,00
10:30	0,50	10:25	2,70
11:30	0,70	11:25	3,00
12:30	1,10	12:25	3,50
13:30	1,70	13:25	2,60
14:30	1,70	14:25	1,90
-	Intervalo 0,10 - 3,0	-	Intervalo 1,90 - 3,50

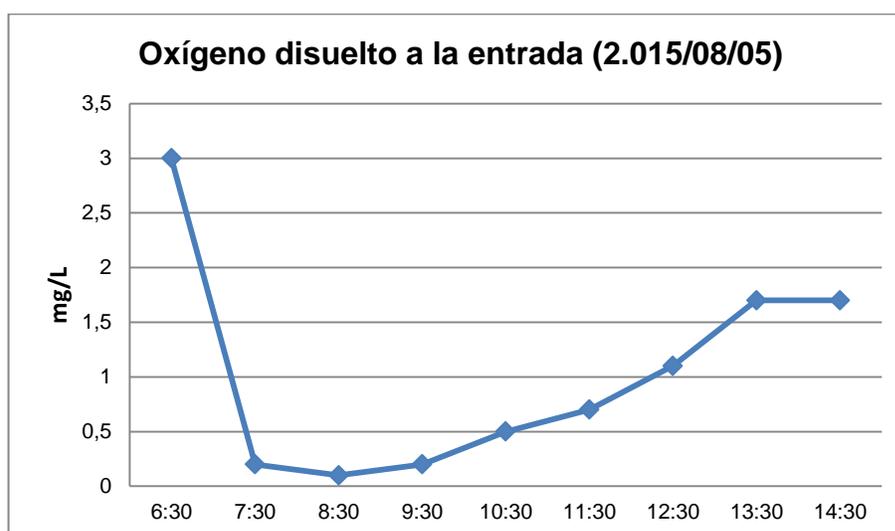


Figura 29. Oxígeno disuelto en el afluente de la PTAR La Marina.

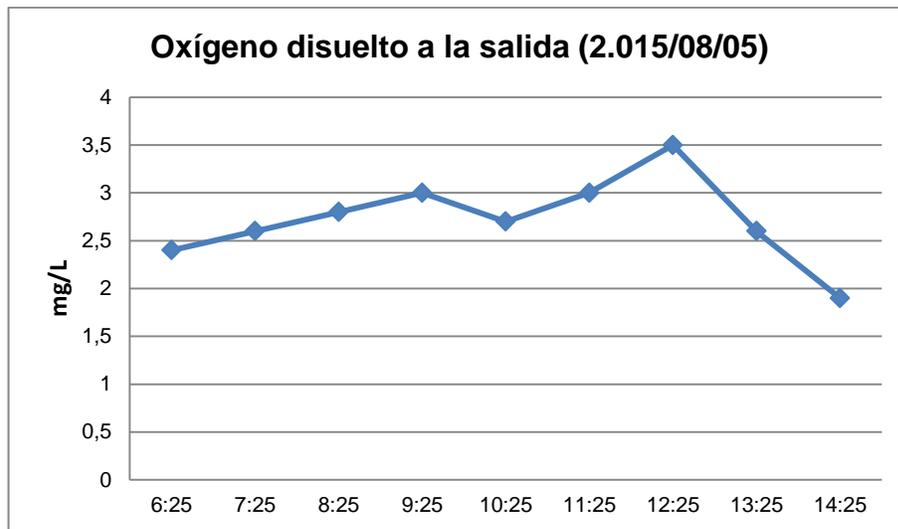


Figura 30. Oxígeno disuelto en el efluente de la PTAR La Marina.

El oxígeno disuelto promedio a la salida de la PTAR de las pruebas realizadas es de 2,6 mg/L. La resolución 0631 de 2.015 no establece para oxígeno disuelto límite para vertimiento.

4 RECOMENDACIONES

4.1 ESTRUCTURA PRELIMINAR

4.1.1 Cribado. De acuerdo con el primer informe de la empresa ACUAMENIER encargada de la puesta en marcha de la PTAR y con inspecciones realizadas, se pudo apreciar que a la trampa de grasas y al desarenador aireado están llegando sólidos, que no fueron retenidos en el cribado los cuales afectan el bombeo de las grasas y presentan obstrucciones al operar las válvulas de guillotina en la salida de las arenas; por tal motivo ACUAMENIER instaló una pantalla en fibra de vidrio con orificios de $\frac{1}{2}$ " y de $1 \frac{1}{4}$ ", con el fin de retener más sólidos y tapar un hueco que hay en la parte inferior de la rejilla fina.

Se propone una rejilla gruesa con una mejor eficiencia y que cumpla con las recomendaciones del RAS, adicionalmente la rejilla debe cubrir toda la sección transversal disponible.

El espaciamiento máximo entre las rejillas de acuerdo con el RAS es de 0,05 m, por lo tanto tomando esta apertura máxima y con el fin de aumentar la eficiencia, tenemos:

E: eficiencia, %.

a : espacio entre barras, m.

t : espesor de la barra, m.

v: velocidad mínima entre barras, m/s.

v_1 : velocidad de aproximación a la rejilla, $1,05 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (2)

H_f : pérdida de altura, m.

$$E = \frac{a}{a + t} = \frac{0,05}{0,05 + 0,25 \times 0,0254} = 89 \%$$

$v = \frac{1,05}{0,89} = 1,18 \text{ m/s}$, > a la velocidad mínima entre barras sugerida por el RAS 2.000.

$$H_f = \frac{V^2 - v^2}{2 \times g} \times \frac{1}{0,7} = \frac{1,18^2 - 1,05^2}{2 \times 9,806 \times 0,7} = 0,021 \text{ m} < 0,75 \text{ m} \text{ Cumple con RAS 2.000}$$

Se recomienda una rejilla con un espacio entre barras de 5 cm, construida en ángulos en acero inoxidable A 304 de $\frac{1}{4}$ " x $\frac{1}{4}$ " x $\frac{1}{8}$ ", con el fin de aumentar la eficiencia, disminuir la velocidad del agua al paso entre barras y así disminuir el arrastre de sólidos.

La velocidad de paso a través de las barras recomendada en el libro de Melcalf y Eddy, es que no supere los 0,9 m/s, con el fin de evitar el arrastre de sólidos; la velocidad calculada del paso a través de las barras, tanto para la rejilla fina como para la rejilla gruesa superan este valor, para disminuir esta velocidad se recomienda la construcción de una canaleta Parshall aguas abajo de la rejilla fina.

La pantalla en fibra de vidrio instalada antes de la rejilla fina tiende a obstruirse por los sólidos que transporta el agua residual e induce el agua para que pase por encima de esta, por tal razón se recomienda que la rejilla fina se instale cubriendo toda el área transversal disponible, ya que está mal instalada y se dejó un espacio en la base de 7 cm aproximadamente por donde pasan los sólidos, adicionalmente se recomienda quitar la pantalla en fibra de vidrio.

El mantenimiento de las rejillas debe ser continuo puede ser de 2 a 3 veces al día, para lo cual se sugiere una acometida de agua potable para el lavado de las cribas⁽²⁰⁾.

Se recomienda hacer una campaña de sensibilización a los usuarios de no arrojar al sistema de alcantarillado condones, colillas de cigarrillos, toallas higiénicas y protectores diarios, los cuales están llegando a la trampa de grasas y obstruyen las válvulas de guillotina.

4.1.2 Canales desarenadores. Cada 3 días se abre la válvula con el fin de conducir las arenas desde los canales desarenadores hasta los lechos de secado de arenas, demorándose hasta 5 días en ser drenada el agua en esta estructura; para evitar que se rebosen los lechos de secado, se están sacando las arenas con la mínima cantidad de agua, causando obstrucciones en la tubería de lavado de 6”.

Se recomienda mejorar el drenaje y la capacidad en los lechos de secado de arenas, con la configuración mostrada en la figura 31.

Las arenas y gravas deben estar limpiar libres de arcillas, polvo, ceniza y ser suministradas en bolsas para evitar su contaminación, el coeficiente de uniformidad de la grava debe estar entre 3,5 y 4.

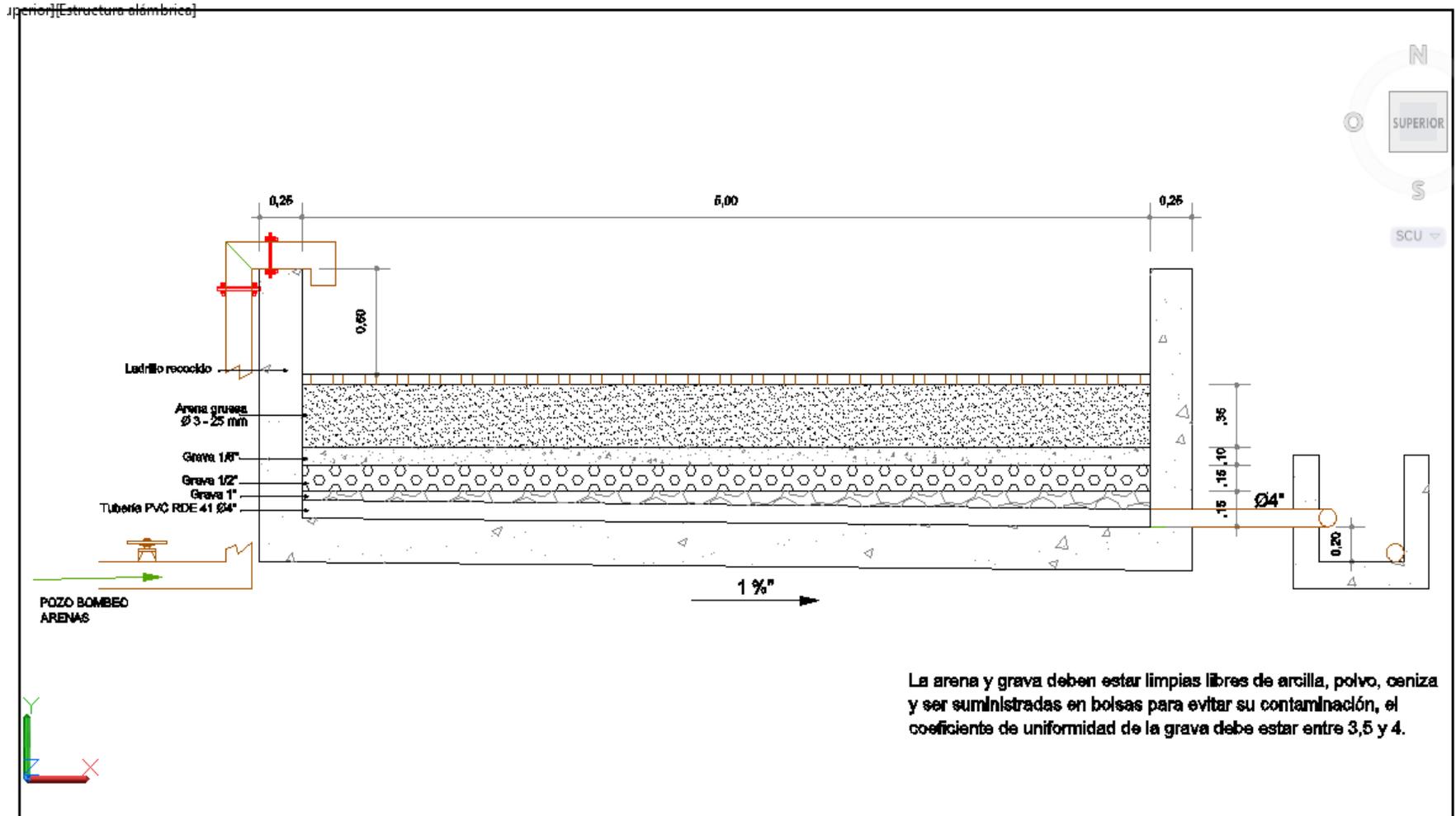


Figura 31. Lechos de secado de arenas.

4.1.3 Trampas de grasas. No estaban funcionando las aletas barredoras de grasas durante el periodo de toma de muestras, por lo tanto, el barrido correspondiente se estaba haciendo manualmente, adicionalmente no se podían evacuar en su totalidad las grasas ya que los lechos de secado de grasas drenan muy lentamente y se rebosan. Esta puede ser la causa del incumplimiento con el valor máximo permitido para vertimiento, por la resolución 0631 de 2.015.

Por lo anterior se sugiere la configuración del lecho de secado de grasas de la figura 32, con el fin de que el drenaje a través del filtro sea más rápido y así incrementar la capacidad y frecuencia de remoción de grasas.

Las arenas y gravas deben estar limpiar libres de arcillas, polvo, ceniza y ser suministradas en bolsas para evitar su contaminación, el coeficiente de uniformidad de la grava debe estar entre 3,5 y 4.

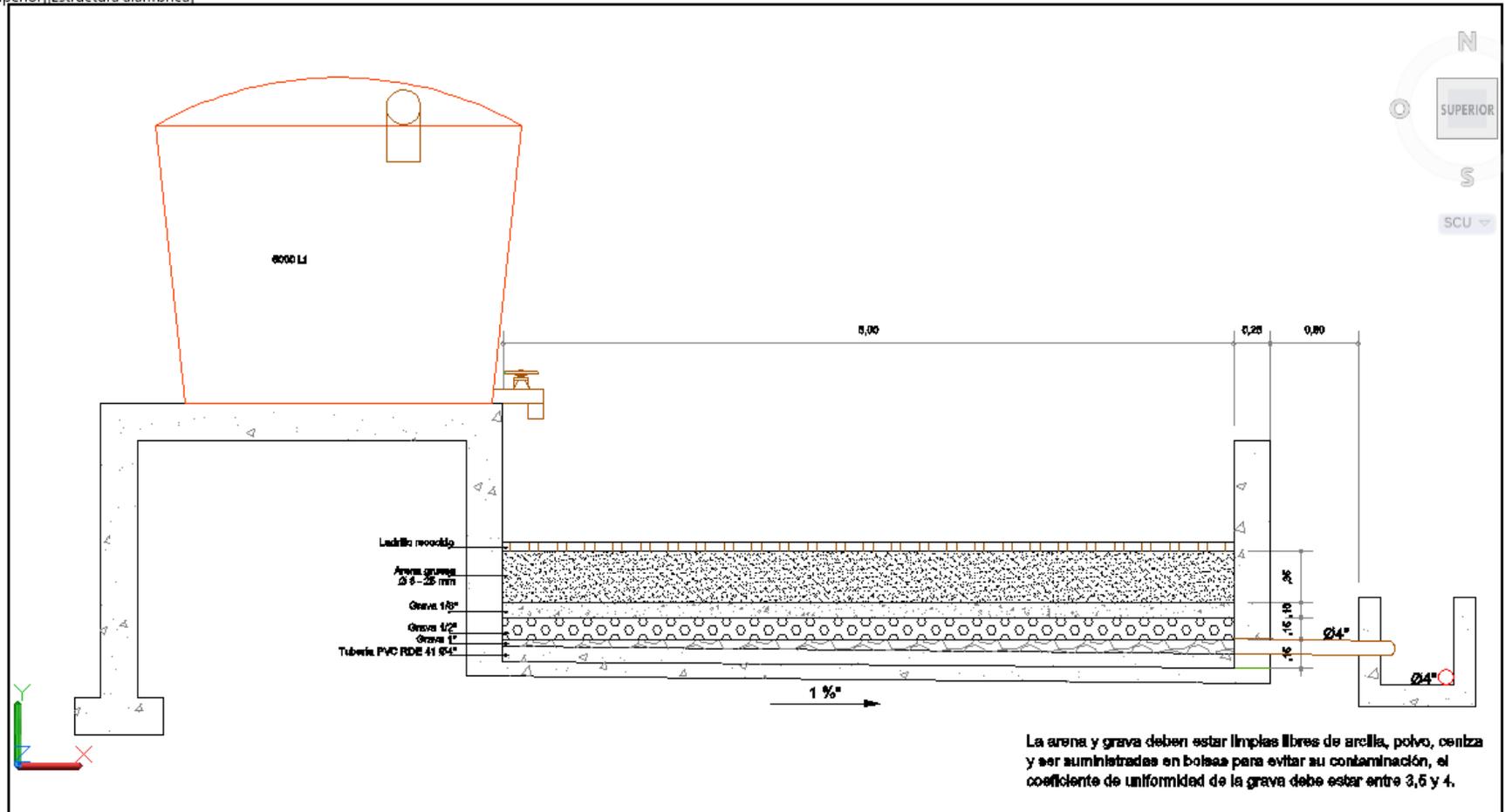


Figura 32. Lechos de secado de grasas.

4.1.4 Tanque de igualación. Se recomienda la construcción de un vertedero rectangular en la caja de recirculación que conduce el agua al tanque de igualación, como se muestra en la figura 34, con el fin de asegurar la recirculación.

Se calcula la altura de lámina de agua h que llega a la cámara de recirculación, por medio de una tubería en PVC de 600 mm de diámetro:

R: radio hidráulico, m.

Q: caudal de diseño; 285,16 L/s.

L: longitud del vertedero; 0,65 m.

n: coeficiente de rugosidad para tubería en PVC; 0,008.

S: pendiente; 0,0062 m/m.

h: lámina de agua que llega a la cámara de recirculación, m.

H: lámina de agua que va al efluente, m.

r: radio del tubo, 0,3 m.

y: distancia del centro del tubo al tirante, m.

Ecuación de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} \times R^{\frac{5}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

$$0,285 = \frac{1}{0,008} \times R^{\frac{5}{3}} \times 0,0062^{\frac{1}{2}}$$

$$R = 0,12 \text{ m}$$

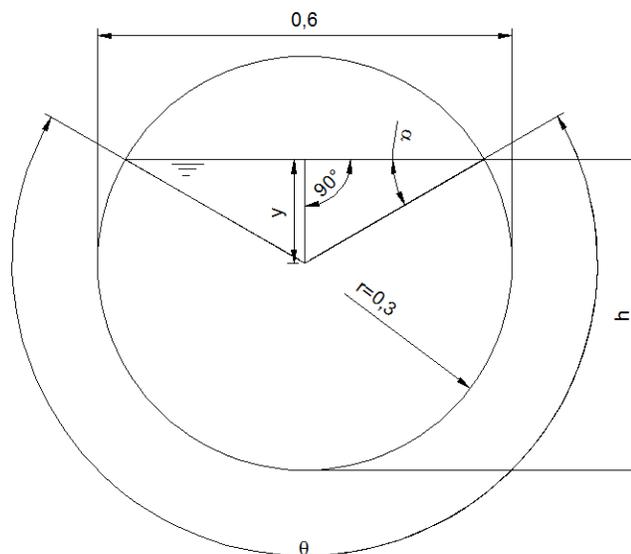


Figura 33. Tubo de llegada a la cámara de recirculación.

Ecuación de radio hidráulico:

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

$$0,12 = \left(1 - \frac{\text{sen}(\theta)}{\theta}\right) \frac{0,6}{4}$$

$$\theta = 278,81^\circ$$

$$\alpha = \frac{278,81^\circ - 180^\circ}{2} = 49,41^\circ$$

Por ley de senos:

$$\frac{y}{\text{sen}(\alpha)} = \frac{r}{\text{sen}(90^\circ)}$$

$$y = \text{sen}(49,41^\circ) \times 0,3 = 0,23 \text{ m}$$

$$h = y + r = 0,3 + 0,23 = 0,53 \text{ m}$$

Se diseña un vertedero rectangular de pared delgada, con una contracción ⁽²⁵⁾.

$N = 1$, por tener una contracción.

g : aceleración de la gravedad, $9,806 \text{ m/s}^2$.

C_d : Coeficiente de descarga, $0,55$.

P : altura del vertedero, m.

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_d (L - 0,1NH) H^{3/2} \quad (25)$$

$$0,285 = \frac{2}{3} \sqrt{2 \times 9,806 \times 0,55 \times (0,65 - 0,1 \times 1 \times H)} H^{3/2}$$

$$H = 0,43$$

$$P = 0,10 \text{ m}$$

De acuerdo con los cálculos anteriores la altura del vertedero en la cámara de recirculación es de $0,10 \text{ m}$ y la longitud de $0,65 \text{ m}$.

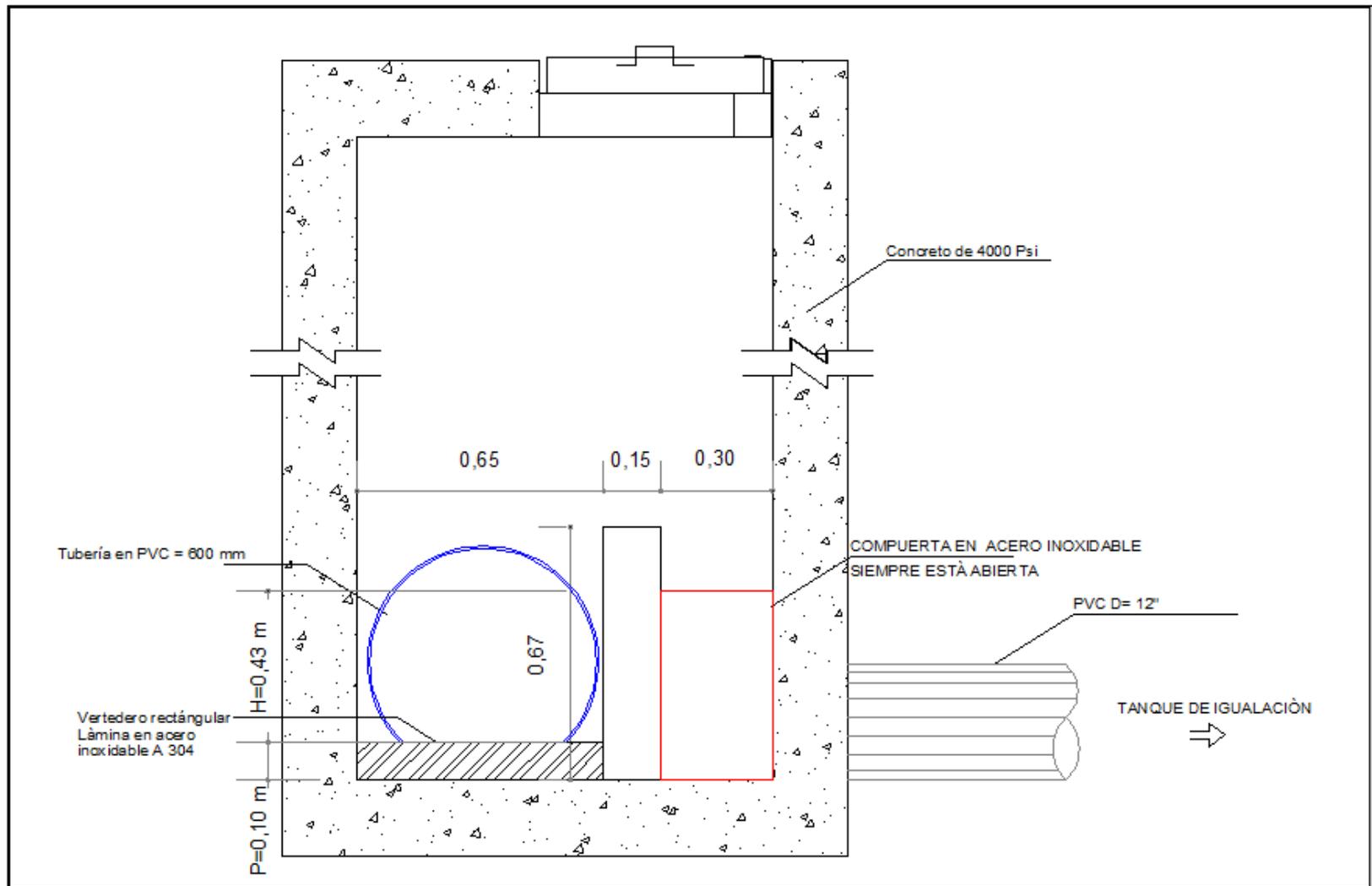


Figura 34. Vertedero rectangular en cámara de recirculación.

4.1.5 Desarenadores aireados. Se podría optimizar la eficiencia de este desarenador y convertirlo en un sedimentador primario con el fin de mejorar la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos y DBO. Para un sedimentador primario la carga orgánica debe estar entre 32 y 48 m/d, de acuerdo con el RAS 2.000.

Q_d : caudal de diseño, m^3/s .

CS: carga superficial, m/d.

A_s : área superficial, m^2 .

r: radio del desarenador, m.

D: diámetro del desarenador, m.

V: volumen total desarenador aireado, m^3 .

T: tiempo de retención, min.

$$Q_d = 71,29 \text{ L/s} \approx 6.159,5 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$CS = \frac{Q_d}{A_s} = \frac{6.159,5}{\pi * r^2} = 48 \frac{\text{m}}{\text{d}}$$

$$r = 6,40 \text{ m} \text{ ó } D = 12,6 \text{ m}$$

$$V = V_{cilindro} + V_{cono truncado}$$

$$V_{cilindro} = \pi r^2 H = \pi * 6,40^2 * 1,73 = 216 \text{ m}^3$$

$$V_{cono truncado} = \frac{h\pi}{3} (r_1^2 r_2^2 + r_1 r_2) = \frac{3,3 * \pi}{3} (6,4^2 * 0,076^2 + 6,4 * 0,076) = 2,5 \text{ m}^3$$

$$V = 218,5 \text{ m}^3$$

$$T = \frac{V}{Q_d} = \frac{218,5}{0,07129} = 51 \text{ min, Cumple con el tiempo mínimo de retención.}$$

Como los desarenadores están fabricados en lámina de acero inoxidable A 304, se puede pensar en la viabilidad de transformarlos en sedimentadores primarios o construir en el tercer módulo el cual no se ha construido, con 2 sedimentadores primarios en vez de 2 desarenadores aireados.

4.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO

4.2.1 Filtros percoladores. Se recomienda que se llenen los filtros con los rosetones con el fin de poder aumentar la producción de la película de biomasa activa la cual realiza la descomposición de materia orgánica.

Para llenar los filtros percoladores se requieren 73.200 rosetones cantidad que corresponde a 128 m³, para poder obtener la eficiencia esperada en la descomposición de materia orgánica.

Adicionalmente como el agua que pasa a través del medio filtrante cae y salpica fuera del filtro produciendo malos olores y lama, se propone en las ventanas del filtro instalar unas salidas en tubería de 36" e intercomunicarlas por medio de una tubería del mismo diámetro y conectarle un compresor con el fin de inyectarle aire y aumentar la eficiencia del filtro, permitiendo que el aire circule, como se muestra en la figura 35 y 36.

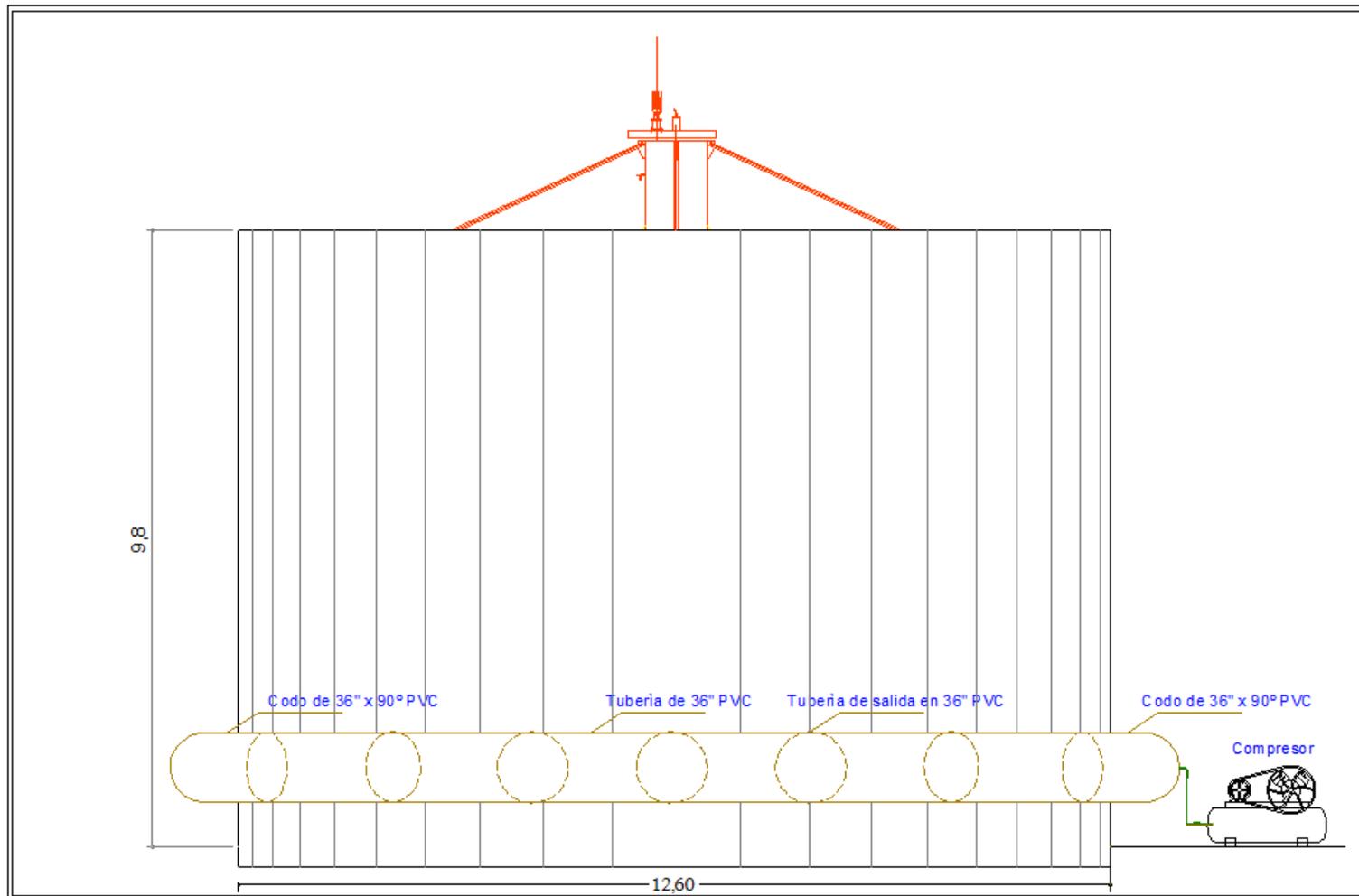


Figura 35. Filtro percolador con ventilación inducida.

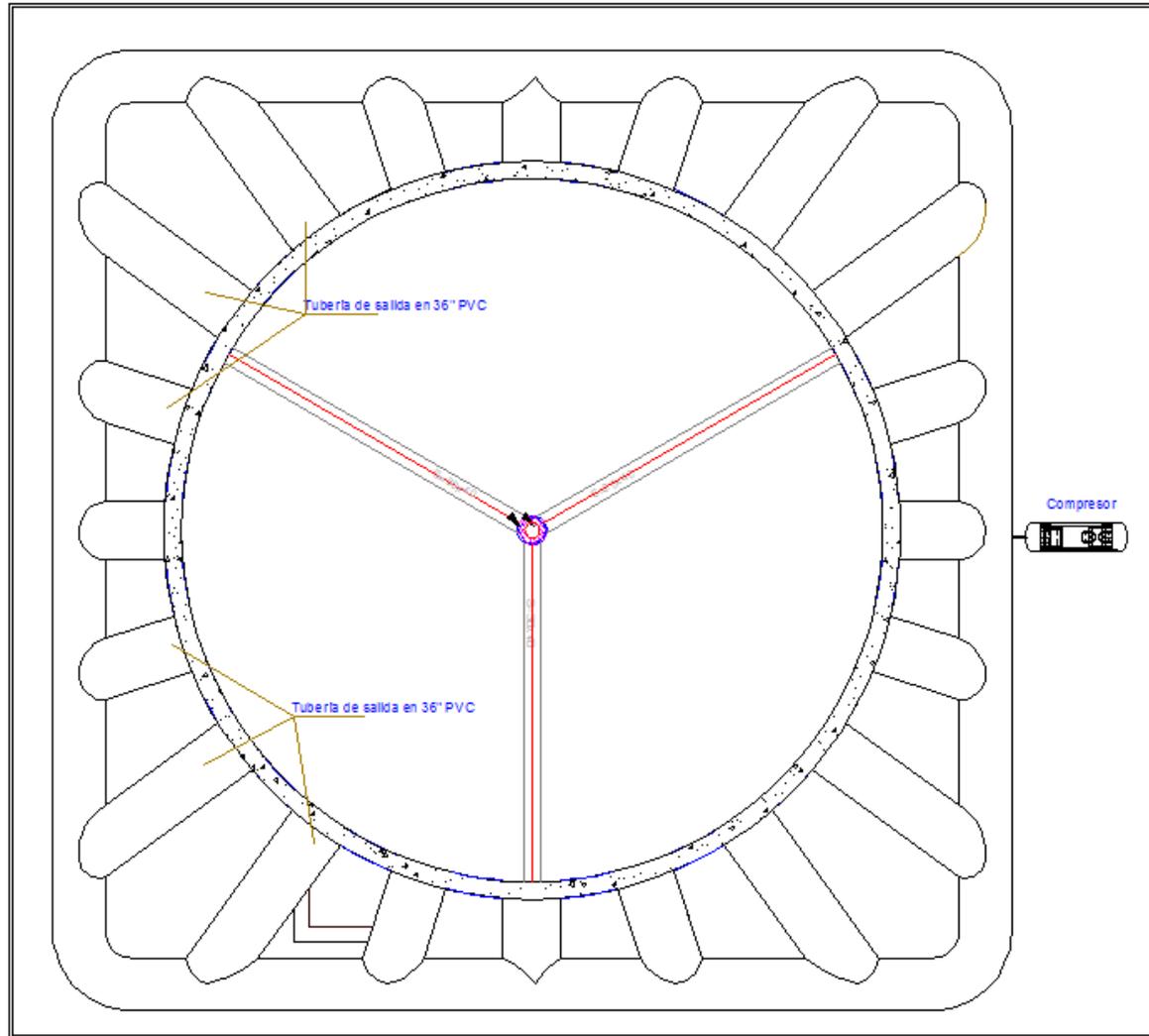


Figura 36. Filtros percoladores con ventilación inducida.

4.2.2 Clarificadores. Se recomienda poner una protección en el borde superior del clarificador con el fin de evitar el deterioro del tanque por el paso de las ruedas del brazo barredor de lodos.

Se recomienda instalar una lámina en acero inoxidable A 304 de 1/8" o un mortero epóxido para grouting de alta resistencia.

4.3 TRATAMIENTO DE LODOS

4.3.1 Espesador Hay un paso de lodos y agua del espesador al digestor primario, que afecta la succión de la bomba por eso se recomienda la instalación de una válvula de retención para controlar el flujo ⁽²²⁾.

La tasa de carga másica calculada con las dimensiones del espesador construido, no cumple con RAS 2.000, ya que debe estar entre $40 - 50 \frac{kg}{m^2 \cdot d}$, por tal motivo determinamos el nuevo radio del espesador que cumpla con este parámetro.

TCM: tasa de carga másica, $\frac{kg}{m^2 \cdot d}$

r: radio del espesador, m.

T: tiempo de retención, d.

TDS: tasa de desbordamiento superficial, m/d.

Cálculo del radio del espesador para que cumpla con la tasa másica de carga:

$$TCM = \frac{887}{\pi \times r^2} = 50 \frac{kg}{m^2 \cdot d}, 40 - 50 \frac{kg}{m^2 \cdot d}, \text{Cumple con RAS 2.000.}$$

Aumentando el diámetro a 4,8 m.

$$r = 2,4 \text{ m}$$

$$T = \frac{V}{Q} = \frac{\pi \times 2,4^2 \times 2}{29,4} = 1,23 \text{ d}$$

$$TDS = \frac{29,4}{\pi \times 2,4^2} = 1,6 < 16 \frac{m}{d}, \text{cumple con RAS 2.000.}$$

4.3.2 Digestor primario y secundario. Se realizan las mismas recomendaciones para los dos digestores:

Cambiar la tubería de 1 ½" para el manejo de sobrenadantes, esta debe tener un diámetro mayor o igual a 6" para no generar obstrucciones.

Se debe dejar en la parte más alta posible del muro de la estructura una tubería de 6" de emergencia sin válvula para la salida de sobrenadantes.

Se recomienda instalar otro registro de inspección en la cubierta de 0,8 m de diámetro y otro en el muro de la estructura con el fin de ayudar a evacuar arenas.

La pendiente de fondo se puede mejorar con el fin de ayudar al drenaje de los lodos, que sea mínimo de 1:14.

4.3.3 Lechos de secado de lodos La tasa de filtración es muy baja por lo que se recomienda la configuración mostrada en la figura 37, es importante que la arena y grava estén limpias libres de arcilla, polvo y ceniza, por lo cual deben ser suministradas en bolsas selladas para evitar su contaminación, el coeficiente de uniformidad debe estar entre 3,5 y 4.

Instalar purgas a diferentes niveles para que baje el nivel del agua eficientemente.

Los valores de área mínima requerida y tasa de carga másica no cumplen con lo establecido por el RAS 2.000, ya que se necesitaría un área demasiado grande para el secado natural de los lodos. Esta planta, por su capacidad de operación, se recomienda el secado de lodos mediante equipos como centrifugas, filtros de prensa o filtros de banda.

Centrifuga: En este proceso de secado se aplica la fuerza centrífuga al lodo para separar el porcentaje sólido del líquido, tiene el mismo principio de la separación por gravedad en un sedimentador, pero 500 a 3.000 veces mayor. Para un lodo digerido anaerobiamente con un porcentaje de sólidos del lodo afluente del 3% y un porcentaje de sólidos de la torta del 30% la cantidad de polímeros que se necesita puede estar entre 3 – 5 g/kg de sólidos ⁽³⁾.

Filtro de prensa de placa: Se utiliza cuando se necesita un contenido de sólidos en la torta superior a 35%, son costosos, los sólidos se bombean al filtro a una presión entre 700 – 2.100 kPa, forzando el paso del líquido a través de un medio filtrante y dejando la torta de sólidos atrapada entre las telas de filtración que cubren las placas huecas, el filtrado drena por medio de conductos y se descarga por el extremo de la prensa, al final las placas se operan y la torta cae por gravedad.

Para un lodo primario más digerido, el porcentaje de cal es aproximadamente de 30 % y el 6 % de cloruro férrico, para un porcentaje de sólidos en la torta del 40% y el tiempo de filtración puede ser de 30 minutos para prensa de volumen fijo.

Filtros de correa o banda: Se emplea una correa doble para desaguar continuamente los lodos mediante una combinación de drenaje por gravedad y de compresión.

Este proceso cuenta con 3 etapas de operación:

1. Acondicionamiento químico del lodo, importante para el rendimiento del filtro.
2. Desaguado por gravedad, mediante una correa porosa continua de gran área superficial.
3. Compactación del lodo en una zona de corte y presión, al disminuir el diámetro del rodillo disminuye la presión.

Este filtro es capaz de producir tortas entre 18 a 25 % de sólidos primarios combinados con secundarios, estos filtros tienen una aplicación económica para plantas de tratamiento de aguas residuales con una capacidad mayor a 175 L/s.

Para lodo primario digerido anaerobiamente la dosis de polímeros está entre 2 – 5 g/kg de sólidos secos.

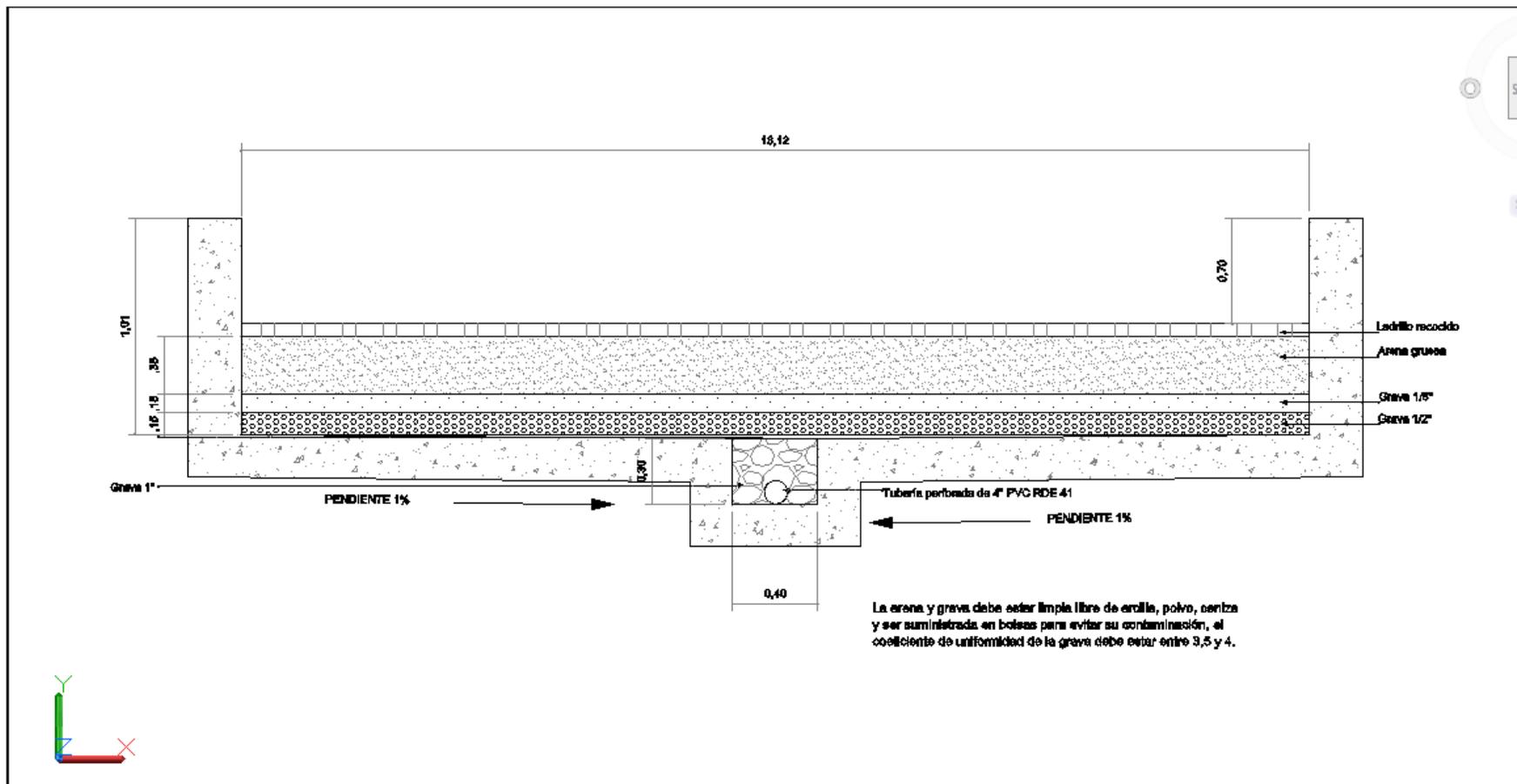


Figura 37. Lechos de secado de lodos.

5 REFERENCIAS

- 1 CARMONA HERREA, Juan Fernando. Ficha resumen. Armenia: Empresas públicas de Armenia EPA, 2.012. 5 p.
- 2 APARICIO, Edwin. Diseños planta de tratamiento de aguas residuales La Marina. Bogotá: Consorcio PTAR, 2.012. 19 p.
- 3 ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2.010. 1.248 p.
- 4 AMAYA, Wilson. Dossier barredor de grasas PTAR La Marina. Bogotá: EQUOM LTDA, 2.015. 116 p.
- 5 XYLEM WATER SOLUTION MANUFACTURING AB. Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento Aireador de chorro Flygt. Suecia: XYLEM, 2.015. 66 p.
- 6 AMAYA, Wilson. Dossier Brazo de izaje PTAR La Marina. Bogotá: EQUOM LTDA, 2.015. 127 p.
- 7 AMAYA, Wilson. Dossier Desarenadores aireados PTAR La Marina. Bogotá: EQUOM LTDA, 2.015. 138 p.
- 8 FERNANDEZ, Carlos. Manual de montaje del clasificador de arenas helicoidal. Barcelona: ESTRUAGUA WATER TECHNOLOGY, 2.010. 36 p.
- 9 FERNANDEZ, Carlos. Manual de montaje tamiz filtrante autolimpiante. Barcelona: ESTRUAGUA WATER TECHNOLOGY, 2.010. 53 p.
- 10 FERNANDEZ, Carlos. Manual de montaje tornillo. Barcelona: ESTRUAGUA WATER TECHNOLOGY, 2.010. 32 p.

- 11 AMAYA, Wilson. Dossier Distribuidor de flujo PTAR La Marina. Bogotá: EQUOM LTDA, 2.015. 103 p.
- 12 ESPINAL RAMIREZ, Luis Aníbal. Cotización. Medellín: EQUOM LTDA, 2.014. 1p.
- 13 DI MUCCI, Marco. Ficha técnica. Barranquilla: BIOLAM COLOMBIA SAS, 2.014. 2 p.
- 14 AMAYA, Wilson. Dossier Barredor de lodos PTAR La Marina. Bogotá: EQUOM LTDA, 2.015. 124 p.
- 15 AMAYA, Wilson. Dossier Sistema de calentamiento de lodos PTAR La Marina. Bogotá: EQUOM LTDA, 2.015. 154 p.
- 16 VARGAS, Giovanni. Informe Mecánico. Bogotá: Consorcio PTAR, 2.012. 14 p.
- 17 METCALF & EDDY. Ingeniería de aguas residuales. Madrid: METCALF & EDDY, INC, 1.995. 1.485p.
- 18 MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Bogotá D.C. RAS, 2.000. 144p.
- 19 ESPINOSA URBANO, Mireya. Informe de monitoreo y caracterización de agua residual. Bogotá: ANALQUIM LTDA, 2.015.9p.
- 20 GARCIA, Diana Marcela. Informe operación del sistema de tratamiento de agua residual PTAR LA MARINA - acta 01. Armenia: ACUAMENIER, 2.015. 44 p.
- 21 GARCIA, Diana Marcela. Informe operación del sistema de tratamiento de agua residual PTAR LA MARINA - acta 02. Armenia: ACUAMENIER, 2.015. 44 p.

- 22 GARCIA, Diana Marcela. Informe de control y seguimiento de equipos del sistema de tratamiento de agua residual PTAR LA MARINA. Armenia: ACUAMENIER, 2.015. 15 p.
- 23 ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del agua. Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería, 2.009. 484 p.
- 24 LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Bogotá: 2.003. 546 p.
- 25 Sotelo A., G., Hidráulica general. Volumen I, Editorial LIMUSA S.A. Sexta edición, México, 1.982. 561 p.