

Memorando Técnico No. 3-3

Para: Unión Temporal PTAR Canoas / Acueducto de Bogotá

De: Consorcio CDM Smith - INGESAM

Fecha: Febrero 24, 2014

Objeto: Diseño PTAR Canoas. MT 3-3. Criterios de diseño y dimensiones del sistema de tratamiento seleccionado

TABLA DE CONTENIDO

1	<u>INTRODUCCIÓN</u>	5
2	<u>FASE I</u>	7
2.1	TRATAMIENTO PRELIMINAR	7
2.1.1	CRIBADO MEDIO – REJAS IMPULSADAS POR CADENA DE RASTRILLO MÚLTIPLE	7
2.1.2	CRIBADO FINO - REJAS IMPULSADAS POR CADENA DE RASTRILLO MÚLTIPLE	8
2.1.3	DESARENACIÓN	9
2.2	TRATAMIENTO PRIMARIO	17
2.2.1	CÁMARAS DE MEZCLA RÁPIDA	17
2.2.2	DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS	18
2.2.3	SEDIMENTADORES PRIMARIOS	19
2.3	MANEJO DE LODOS	20
2.3.1	ALTERNATIVA DIGESTIÓN ANAERÓBICA CONVENCIONAL	20
2.3.2	ALTERNATIVA HIDRÓLISIS TÉRMICA CON DIGESTIÓN ANAERÓBICA	24
3	<u>FASE II</u>	28
3.1	TRATAMIENTO PRIMARIO	28
3.1.1	SEDIMENTADORES PRIMARIOS	28
3.2	TRATAMIENTO SECUNDARIO	30
3.2.1	LODOS ACTIVADOS – ALIMENTACIÓN ESCALONADA	30
3.2.2	SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA	32
3.3	DESINFECCIÓN	33
3.4	MANEJO DE LODOS	35
3.4.1	ALTERNATIVA DIGESTIÓN ANAERÓBICA CONVENCIONAL	35
3.4.2	ALTERNATIVA HIDRÓLISIS TÉRMICA CON DIGESTIÓN ANAERÓBICA	39

4 FASE III	43
4.1 TRATAMIENTO PRIMARIO	43
4.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO Y REMOCIÓN DE NUTRIENTES	44
4.2.1 LODOS ACTIVADOS – BARDENPHO POR MEDIO DE ALIMENTACIÓN ESCALONADA	44
4.2.2 SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA	49
4.3 MANEJO DE LODOS	50
4.3.1 DIGESTIÓN ANAERÓBICO CONVENCIONAL	50
4.3.2 HIDRÓLISIS TÉRMICA MÁS DIGESTIÓN ANAERÓBICA	55

LISTA DE TABLAS

TABLA 1-1 PROCESOS DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS PARA LA PTAR CANOAS – LÍNEA DE AGUAS	5
TABLA 1-2 PROCESOS DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS PARA LA PTAR CANOAS – LÍNEA DE LODO (DIGESTIÓN ANAERÓBICA CONVENCIONAL)	5
TABLA 1-3 PROCESOS DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS PARA LA PTAR CANOAS – LÍNEA DE LODO (HIDRÓLISIS TÉRMICA Y DIGESTIÓN ANAERÓBICA)	6
TABLA 1-4 CAUDALES DE DISEÑO	6
TABLA 1-5 CARGAS DE DISEÑO	6
TABLA 2-1. CRITERIOS DE DISEÑO PARA CRIBADO MEDIO	7
TABLA 2-2. DIMENSIONAMIENTO PARA CRIBADO MEDIO	7
TABLA 2-3 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA CRIBADO MEDIO	8
TABLA 2-4. CRITERIOS DE DISEÑO PARA CRIBADO FINO	8
TABLA 2-5. DIMENSIONAMIENTO PARA CRIBADO FINO	9
TABLA 2-6 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA CRIBADO FINO	9
TABLA 5-19 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE PARA DIFERENTES EFICIENCIAS	11
TABLA 2-7. CRITERIOS DE DISEÑO PARA DESARENACIÓN AIREADA	14
TABLA 2-8. DIMENSIONAMIENTO Y PARÁMETROS DE DISEÑO PARA DESARENACIÓN AIREADA	15
TABLA 2-9. DIMENSIONAMIENTO PARA HIDROCICLONES (DESARENACIÓN DE LODOS)	16
TABLA 2-10. CRITERIOS DE DISEÑO PARA MEZCLA RÁPIDA	17
TABLA 2-11. DIMENSIONAMIENTO PARA MEZCLA RÁPIDA	17
TABLA 2-12 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA MEZCLA RÁPIDA	18
TABLA 2-13 DOSIFICACIÓN DE PTAR CON TPQA	18
TABLA 2-14. CRITERIOS DE DISEÑO PARA TPQA	19
TABLA 2-15. DIMENSIONAMIENTO PARA TPQA	19
TABLA 2-16 PARÁMETROS DE DISEÑO TPQA	20
TABLA 2-17. CRITERIOS DE DISEÑO PARA ESPESAMIENTO PRIMARIO - ESPESADOR CIRCULAR POR GRAVEDAD	20
TABLA 2-18. DIMENSIONAMIENTO PARA ESPESAMIENTO PRIMARIO - ESPESADOR CIRCULAR POR GRAVEDAD	20
TABLA 2-19 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA ESPESAMIENTO PRIMARIO - ESPESADOR CIRCULAR POR GRAVEDAD	21
TABLA 2-20. CRITERIOS DE DISEÑO PARA DIGESTIÓN ANAEROBIA CONVENCIONAL	21
TABLA 2-21. DIMENSIONAMIENTO PARA DIGESTIÓN ANAEROBIA CONVENCIONAL	21
TABLA 2-22 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA DIGESTIÓN ANAEROBIA CONVENCIONAL	22
TABLA 2-23 CRITERIOS DE DISEÑO CENTRIFUGAS	23
TABLA 2-24 DIMENSIONAMIENTO CENTRIFUGAS	23
TABLA 2-25 PARÁMETROS DE DISEÑO CENTRIFUGAS	23
TABLA 2-26 CRITERIOS DE DISEÑO PRE-DESHIDRATACIÓN – CENTRIFUGAS	24
TABLA 2-27 DIMENSIONAMIENTO PRE-DESHIDRATACIÓN – CENTRIFUGAS	24
TABLA 2-28 PARÁMETROS PRE-DESHIDRATACIÓN – CENTRIFUGAS	25
TABLA 2-29 DIMENSIONAMIENTO HIDRÓLISIS TÉRMICA	25

TABLA 2-30 PARÁMETROS DE DISEÑO HIDRÓLISIS TÉRMICA.....	25
TABLA 2-31 CRITERIOS DE DISEÑO DIGESTIÓN ANAERÓBICA	26
TABLA 2-32 DIMENSIONAMIENTO DIGESTIÓN ANAERÓBICA	26
TABLA 2-33 PARÁMETROS DE DISEÑO DIGESTIÓN ANAERÓBICA.....	27
TABLA 2-34 CRITERIOS DE DISEÑO DESHIDRATACIÓN - FILTROS PRENSA DE BANDA.....	27
TABLA 2-35 DIMENSIONAMIENTO - FILTROS PRENSA DE BANDA.....	27
TABLA 2-36 PARÁMETROS DE DISEÑO - FILTROS PRENSA DE BANDA.....	28
TABLA 3-1 CRITERIOS DE DISEÑO SEDIMENTADOR PRIMARIO	28
TABLA 3-2 DIMENSIONAMIENTO SEDIMENTADOR PRIMARIO	28
TABLA 3-3 PARÁMETROS DE DISEÑO SEDIMENTADOR PRIMARIO	29
TABLA 3-4 CRITERIOS DE DISEÑO LODOS ACTIVADOS	30
FIGURA 3-5 LODOS ACTIVADOS POR MEDIO DE ALIMENTACIÓN ESCALONADA	30
TABLA 3-6 DIMENSIONAMIENTO LODOS ACTIVADOS.....	30
TABLA 3-7 PARÁMETROS DE DISEÑO LODOS ACTIVADOS.....	31
TABLA 3-8 CRITERIOS DE DISEÑO SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA.....	32
TABLA 3-9 DIMENSIONAMIENTO SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA.....	33
TABLA 3-10 PARÁMETROS DE DISEÑO SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA.....	33
TABLA 3-11 CRITERIOS DE DESINFECCIÓN - CLORO	33
TABLA 3-12 DIMENSIONAMIENTO DE DESINFECCIÓN – CLORO	34
TABLA 3-13 PARÁMETROS DE DISEÑO DE DESINFECCIÓN – CLORO	34
TABLA 3-14 CRITERIOS DE DISEÑO ESPESAMIENTO PRIMARIO – ESPESADOR CIRCULAR POR GRAVEDAD.....	35
TABLA 3-15 DIMENSIONAMIENTO ESPESAMIENTO PRIMARIO – ESPESADOR CIRCULAR POR GRAVEDAD.....	35
TABLA 3-16 PARÁMETROS DE DISEÑO ESPESAMIENTO PRIMARIO – ESPESADOR CIRCULAR POR GRAVEDAD.....	35
TABLA 3-17 CRITERIOS DE DISEÑO ESPESAMIENTO SECUNDARIO - FILTROS DE BANDA POR GRAVEDAD.....	36
TABLA 3-18 DIMENSIONAMIENTO ESPESAMIENTO SECUNDARIO - FILTROS DE BANDA POR GRAVEDAD.....	36
TABLA 3-19 PARÁMETROS DE DISEÑO ESPESAMIENTO SECUNDARIO - FILTROS DE BANDA POR GRAVEDAD.....	36
TABLA 3-20 CRITERIOS DE DISEÑO DIGESTIÓN ANAERÓBICA CONVENCIONAL	37
TABLA 3-21 DIMENSIONAMIENTO DIGESTIÓN ANAERÓBICA CONVENCIONAL.....	37
TABLA 3-22 PARÁMETROS DE DISEÑO DIGESTIÓN ANAERÓBICA CONVENCIONAL.....	38
TABLA 3-23 CRITERIOS DE DISEÑO DESHIDRATACIÓN – CENTRIFUGAS.....	38
TABLA 3-24 DIMENSIONAMIENTO DESHIDRATACIÓN – CENTRIFUGAS	38
TABLA 3-25 PARÁMETROS DE DISEÑO DESHIDRATACIÓN - CENTRIFUGAS	39
TABLA 3-26 CRITERIOS DE DISEÑO PRE-DESHIDRATACIÓN - CENTRIFUGAS	39
TABLA 3-27 DIMENSIONAMIENTO PRE-DESHIDRATACIÓN - CENTRIFUGAS.....	39
TABLA 3-28 PARÁMETROS DE DISEÑO PRE-DESHIDRATACIÓN - CENTRIFUGAS.....	40
TABLA 3-29 DIMENSIONAMIENTO HIDRÓLISIS TÉRMICA.....	40
TABLA 3-30 PARÁMETROS DE DISEÑO HIDRÓLISIS TÉRMICA.....	40
TABLA 3-31 CRITERIOS DE DISEÑO DIGESTIÓN ANAERÓBICA	41
TABLA 3-32 DIMENSIONAMIENTO DIGESTIÓN ANAERÓBICA	41
TABLA 3-33 PARÁMETROS DE DISEÑO DIGESTIÓN ANAERÓBICA.....	42
TABLA 3-34 CRITERIOS DE DISEÑO DESHIDRATACIÓN - FILTRO PRENSA DE BANDA.....	42
TABLA 3-35 DIMENSIONAMIENTO DESHIDRATACIÓN - FILTRO PRENSA DE BANDA.....	42
TABLA 3-36 PARÁMETROS DE DISEÑO DESHIDRATACIÓN - FILTRO PRENSA DE BANDA	43
TABLA 4-1 CRITERIOS DE DISEÑO TRATAMIENTO PRIMARIO	43
TABLA 4-2 DIMENSIONAMIENTO TRATAMIENTO PRIMARIO.....	43
TABLA 4-3 PARÁMETROS DE DISEÑO TRATAMIENTO PRIMARIO.....	44
TABLA 4-4 CRITERIOS DE DISEÑO LODOS ACTIVADOS - BARDENPHO POR MEDIO DE ALIMENTACIÓN ESCALONADA.....	44
TABLA 4-5 DIMENSIONAMIENTO LODOS ACTIVADOS - BARDENPHO POR MEDIO DE ALIMENTACIÓN ESCALONADA	45
TABLA 4-6 PARÁMETROS DE DISEÑO REMOCIÓN DE DBO PARA LODOS ACTIVADOS - BARDENPHO POR MEDIO DE ALIMENTACIÓN ESCALONADA	47
TABLA 4-7 PARÁMETROS DE DISEÑO REMOCIÓN DE NITRÓGENO LODOS ACTIVADOS - BARDENPHO POR MEDIO DE ALIMENTACIÓN ESCALONADA	48

TABLA 4-8 REMOCIÓN DE FÓSFORO LODOS ACTIVADOS - BARDENPHO POR MEDIO DE ALIMENTACIÓN ESCALONADA	48
TABLA 4-9 CRITERIOS DE DISEÑO SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA.....	49
TABLA 4-10 DIMENSIONAMIENTO SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA	49
TABLA 4-11 PARÁMETROS DE DISEÑO SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA.....	50
TABLA 4-12 CRITERIOS DE DISEÑO ESPESAMIENTO PRIMARIO - ESPESADOR CIRCULAR POR GRAVEDAD	50
TABLA 4-13 DIMENSIONAMIENTO ESPESAMIENTO PRIMARIO - ESPESADOR CIRCULAR POR GRAVEDAD.....	50
TABLA 4-14 PARÁMETROS DE DISEÑO ESPESAMIENTO PRIMARIO - ESPESADOR CIRCULAR POR GRAVEDAD.....	51
TABLA 4-15 CRITERIOS DE DISEÑO ESPESAMIENTO SECUNDARIO - ESPESADOR DE BANDA POR GRAVEDAD.....	51
TABLA 4-16 DIMENSIONAMIENTO ESPESAMIENTO SECUNDARIO - ESPESADOR DE BANDA POR GRAVEDAD.....	52
TABLA 4-17 PARÁMETROS DE DISEÑO ESPESAMIENTO SECUNDARIO - ESPESADOR DE BANDA POR GRAVEDAD	52
TABLA 4-18 CRITERIOS DE DISEÑO DIGESTIÓN ANAERÓBICA CONVENCIONAL	52
TABLA 4-19 DIMENSIONAMIENTO DIGESTIÓN ANAERÓBICA CONVENCIONAL.....	53
TABLA 4-20 PARÁMETROS DE DISEÑO DIGESTIÓN ANAERÓBICA CONVENCIONAL.....	53
TABLA 4-21 CRITERIOS DE DISEÑO DESHIDRATACIÓN – CENTRIFUGAS.....	54
TABLA 4-22 DIMENSIONAMIENTO DESHIDRATACIÓN – CENTRIFUGAS	54
TABLA 4-23 PARÁMETROS DE DISEÑO DESHIDRATACIÓN – CENTRIFUGAS	54
TABLA 4-24 CRITERIOS DE DISEÑO PRE-DESHIDRATACIÓN - CENTRIFUGAS	55
TABLA 4-25 DIMENSIONAMIENTO PRE-DESHIDRATACIÓN - CENTRIFUGAS.....	55
TABLA 4-26 PARÁMETROS DE DISEÑO PRE-DESHIDRATACIÓN - CENTRIFUGAS.....	55
TABLA 4-27 DIMENSIONAMIENTO HIDRÓLISIS TÉRMICA.....	56
TABLA 4-28 PARÁMETROS DE DISEÑO HIDRÓLISIS TÉRMICA.....	56
TABLA 4-29 CRITERIOS DE DISEÑO DIGESTIÓN ANAERÓBICA	57
TABLA 4-30 DIMENSIONAMIENTO DIGESTIÓN ANAERÓBICA	57
TABLA 4-31 PARÁMETROS DE DISEÑO DIGESTIÓN ANAERÓBICA.....	57
TABLA 4-32 CRITERIOS DE DISEÑO DESHIDRATACIÓN - FILTROS PRENSA DE BANDA.....	58
TABLA 4-33 DIMENSIONAMIENTO DESHIDRATACIÓN - FILTROS PRENSA DE BANDA.....	58
TABLA 4-34 PARÁMETROS DE DISEÑO DESHIDRATACIÓN - FILTROS PRENSA DE BANDA	59

1 Introducción

Este memorando técnico tiene como objetivo presentar un resumen los criterios de diseño, dimensionamiento y parámetros de diseño del sistema de tratamiento seleccionado para la PTAR Canoas por el Consorcio CDM Smith. Este sistema se seleccionó con base en el análisis de alternativas realizado en el Producto 3 del proyecto *“Realizar el diseño a nivel de ingeniería de detalle de la planta de aguas residuales de “Canoas” en los componentes asociados al sistema de tratamiento con asistencia química”*.

En los días 6 y 7 de marzo se realizó una reunión entre el EA, el Interventor y el Consorcio CDM Smith – INGESAM para discutir los criterios de diseño que se utilizarán en el sistema de tratamiento seleccionado. En la semana posterior al envío del documento por parte de la Consultoría, se realizó un cambio en los criterios de diseño del sistema de lodos activados y clarificación secundaria. Por tal motivo, se vuelve a enviar el Memorando Técnico incluyendo los cambios en la sección de lodos activados de la Fase II y la Fase III.

Los comentarios realizados por el EAB y la Interventoría en la reunión del 6 y 7 de marzo se tendrán en cuenta para la remisión del Producto 3, sin embargo no se incluyeron en esta versión del Memorando Técnico debido a la premura que existe para remitir este documento con la mayor brevedad.

En las siguientes tablas se presentan los procesos unitarios seleccionados.

Tabla 1-1 Procesos de tratamiento seleccionados para la PTAR Canoas – línea de aguas

Proceso Unitario	Sub Proceso	Tecnología
Tratamiento Preliminar	Cribado Grueso	Rejas impulsadas por cadena
	Cribado Fino	Rejas impulsadas por cadena
	Desarenación	Desarenador aireado
	Desarenación	Hidrociclones
Tratamiento Primario	-	TPQA
Tratamiento Secundario	-	Lodos Activados
Tratamiento Terciario - Remoción de Nutrientes	Remoción de Nitrógeno	Lodos Activados (Bardenpho de 4 etapas)
	Remoción de Fósforo	Precipitación química + proceso biológico
Desinfección	-	Hipoclorito de Sodio

Tabla 1-2 Procesos de tratamiento seleccionados para la PTAR Canoas – línea de lodo (digestión anaeróbica convencional)

Proceso Unitario	Sub Proceso	Tecnología
Espesamiento	Espesamiento Primario	Espesador circular a gravedad
	Espesamiento Secundario	Espesador de banda a gravedad
Digestión	-	Digestión anaeróbica convencional
Deshidratación	-	Centrífugas

Tabla 1-3 Procesos de tratamiento seleccionados para la PTAR Canoas – línea de lodo (hidrólisis térmica y digestión anaeróbica)

Proceso Unitario	Sub Proceso	Tecnología
Espesamiento	Espesamiento Primario	Espesador circular a gravedad
	Espesamiento Secundario	Espesador de banda a gravedad
	Pre-deshidratación	Centrifugas
Digestión	-	Hidrólisis térmica
Digestión	-	Digestión anaeróbica convencional
Deshidratación	-	Filtros prensa de banda

Como bases para el dimensionamiento de las unidades de tratamiento en las siguientes tablas se presentan los caudales y cargas afluentes al sistema. Estos valores se toman de la Sección 2 – Validación de caudales y cargas para el diseño del Producto 3.

Tabla 1-4 Caudales de diseño

CAUDALES DE AGUAS RESIDUALES	m ³ /s
Promedio diario total de aguas residuales, Q _{MD}	16,0
Máximo mensual, Q _{MM}	19,7
Pico horario, Q _{MH}	21,4
Mínimo diario, Q _{md}	13,6
Máximo de aguas combinadas Q _{MAC}	32,0

Tabla 1-5 Cargas de diseño

Parámetro	Carga media (kg/d)	Carga máxima mensual (kg/d)	Carga máxima diaria. kg/d
DBO ₅	366,336	461,583	515,114
DQO	810,086	1.028.809	1.134.120
SST	338,688	386,104	496,672
SSV	237,773	290,083	354,282
Alcalinidad	309,658	349,913	368,529
NTK	96,768	119,992	135,475
Fósforo. PT	13,271	15,925	18,048

A continuación se presentan los criterios y parámetros de diseño de los procesos de tratamiento presentados anteriormente. Los soportes que se utilizaron para definir ciertos criterios y el proceso de cálculo para dimensionar las unidades no hacen parte del alcance de este documento. Vale la pena anotar que esta información se presentará como parte del Producto 3.

2 Fase I

2.1 Tratamiento preliminar

2.1.1 Cribado medio - rejas impulsadas por cadena de rastrillo múltiple

Los criterios de diseño para realizar el dimensionamiento conceptual de las rejas impulsadas por cadena de rastrillo múltiple se toman del Manual de Práctica No. 8 del Water Environment Federation (WEF), del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y de la experiencia propia de CDM Smith. Se asume que aguas arriba de la estación de bombeo existirá un sistema de cribado de 100mm (4 in) de abertura efectiva máxima, por lo que, se propone que las rejas de cribado medio tengan un espacio entre sus rejillas de 25mm.

Tabla 2-1. Criterios de diseño para cribado medio

Criterios de diseño			
Parámetro	MOP 8	RAS	Criterio adoptado
Velocidad máxima en el canal (m/s)	0,9	-	0,64
Velocidad mínima en el canal (m/s)	0,3	0,3-0,9	0,58
Velocidad mínima entre barras (m/s)	-	0,6-1,2	0,81
Velocidad máxima entre barras (m/s)	1,2	-	0,89

Tabla 2-2. Dimensionamiento para cribado medio

Dimensionamiento				
Parámetros de entrada				
Caudal (m ³ /s)	13,6	16	19,7	32
Características de unidad y dimensiones				
Número total de canales	12			
Número de canales - stand-by	2			
Número de canales a operar	5 a 11 de acuerdo al flujo			
Número de canales para garantizar velocidad mínima	5	6	7	10
Ancho de canal (m)	2,5	2,5	2,5	2,5
Ancho de barras (mm)	10	10	10	10
Espaciamiento (mm)	25	25	25	25
Número de Barras	70	70	70	70
Angulo de instalación - θ (°)	80	80	80	80

Tabla 2-3 Parámetros de diseño para cribado medio

Parámetros de diseño				
Caudal (m ³ /s)	13,6	16	19,7	32
Caudal por canal (m ³ /s)	2,7	2,67	2,81	3,20
Profundidad de aguas abajo (m)	1,80	1,83	1,87	2,00
Profundidad de aguas arriba (m)	1,81	1,84	1,88	2,01
Velocidad mínima en el canal (m/s)	0,60	0,58	0,60	0,64
Área efectiva entre barras (%)	71%	71%	71%	71%
Velocidad entre barras (m/s)	0,84	0,81	0,83	0,89
Perdida de energía con reja limpia				
Ecuación de Kirschmer	$H_L = \beta(\omega/b)^{1,33} h \text{ seno}(\theta)$			
Coefficiente de Kirschmer - β ⁽²⁾	1,8			
Pérdida de energía, HL (m)	0,009	0,009	0,010	0,011
Perdida de energía con reja colmatada (30% de taponamiento)				
Área efectiva entre barras (%)	50%	50%	50%	50%
Velocidad entre barras (m/s)	1,19	1,15	1,19	1,26
Pérdida de energía (m)	0,032	0,030	0,032	0,030

(1) La velocidad de resuspensión se estimó teniendo en cuenta el valor el caudal máximo horario en tiempo seco, 24,1 m³/s, y el número de canales en operación para caudal promedio diario de acuerdo a las recomendaciones presentadas en MOP-8.

(2) Coeficiente de Kirschmer modificado de acuerdo al paper "HYDRAULIC SIMILARITY OF HEADLOSS PREDICTIONS DERIVED USING COMMONLY USED METHODS VERSUS ACTUAL RESULTS AS IT RELATES TO WASTEWATER SCREEN ELEMENT" (Weftec, Lucas Botero, 2011)

2.1.2 Cribado fino - rejas impulsadas por cadena de rastrillo múltiple

Los criterios de diseño para realizar el dimensionamiento conceptual de las rejas impulsadas por cadena de rastrillo múltiple se toman del Manual de Práctica No. 8 del Water Environment Federation (WEF), del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y de la experiencia propia de CDM Smith. Para obtener un sistema robusto de cribado que minimice la entrada de sólidos a los procesos aguas abajo en la planta y teniendo en cuenta el sistema de cribado medio de 25 mm precedente, se recomienda una abertura de 6 mm para el cribado fino.

Tabla 2-4. Criterios de diseño para cribado fino

Criterios de diseño			
Parámetro	MOP 8	RAS	Criterio adoptado
Velocidad máxima en el canal (m/s)	0,9	-	0,50
Velocidad mínima en el canal (m/s)	0,3	0,3-0,9	0,44
Velocidad mínima entre barras (m/s)	-	0,6-1,2	0,79
Velocidad máxima entre barras (m/s)	1,2	-	0,89

Tabla 2-5. Dimensionamiento para cribado fino

Dimensionamiento				
Parámetros de entrada				
Caudal (m ³ /s)	13,6	16	19,7	32
Características de unidad y dimensiones				
Número total de canales	12			
Número de canales - Stand-by	2			
Número de canales a operar	5 a 10 de acuerdo al flujo			
Número de canales para garantizar velocidad mínima	5	6	7	10
Ancho de canal (m)	2,5	2,5	2,5	2,5
Ancho de barras (mm)	5	5	5	5
Espaciamiento (mm)	6	6	6	6
Número de Barras	226	226	226	226
Angulo de instalación - θ (°)	80	80	80	80

Tabla 2-6 Parámetros de diseño para cribado fino

Parámetros de diseño				
Caudal (m ³ /s)	13,6	16	19,7	32
Caudal por canal (m ³ /s)	2,72	2,67	2,81	3,20
Profundidad de aguas abajo (m)	2,40	2,42	2,46	2,58
Profundidad de aguas arriba (m)	2,43	2,45	2,49	2,61
Velocidad en el canal (m/s)	0,45	0,44	0,46	0,50
Área efectiva entre barras (%)	54%	54%	54%	54%
Velocidad entre barras (m/s)	0,81	0,79	0,82	0,89
Perdida de energía con reja limpia				
Ecuación de Kirschmer	$H_L = \beta(\omega/b)^{1,33} h \text{ seno}(\theta)$			
Coefficiente de Kirschmer - β (2)	1,8			
Pérdida de energía (m)	0,027	0,025	0,027	0,026
Perdida de energía con reja colmatada (30% de taponamiento)				
Área efectiva entre barras (%)	38%	38%	38%	38%
Velocidad entre barras (m/s)	1,15	1,12	1,16	1,26
Pérdida de energía (m)	0,055	0,052	0,056	0,054

(1) La velocidad de resuspensión se estimó teniendo en cuenta el valor el caudal máximo horario en tiempo seco, 24,1 m³/s, y el número de canales en operación para caudal promedio diario de acuerdo a las recomendaciones presentadas en MOP-8.

(2) Coeficiente de Kirschmer modificado de acuerdo al paper HYDRAULIC SIMILARITY OF HEADLOSS PREDICTIONS DERIVED USING COMMONLY USED METHODS VERSUS ACTUAL RESULTS AS IT RELATES TO WASTEWATER SCREEN ELEMENT. Weftec, Lucas Botero (2011)

2.1.3 Desarenación

Un punto crítico en la operación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales a nivel nacional (por ejemplo, PTAR Salitre y PTAR San Fernando) es la gran cantidad de arenas finas que llegan a los sistemas. Con el fin de obtener un sistema robusto de remoción de arenas, el sistema de desarenación propuesto para la PTAR Canoas está compuesto de dos etapas; la primera etapa compuesta de

desarenadores aireados en la línea de agua y la segunda etapa compuesta por hidrociclones en la línea de lodo.

2.1.3.1 *Desarenación aireada*

Los criterios de diseño para realizar el dimensionamiento conceptual del desarenador aireado se toman del Manual de Práctica No. 8 del Water Environment Federation (WEF) y del Wastewater Engineering: Treatment and Reuse de Metcalf & Eddy y se ajustan a los lineamientos de diseño para sistemas de remoción de arenas de CDM Smith, y de la experiencia propia del Consultor.

2.1.3.1.1 Carga de arenas

La carga de arenas para las PTARs siempre ha sido y seguirá siendo un punto muy debatido. En principio no hay estándares establecidos para la medición de la misma reconocidos universalmente, y no es algo que se realice cuando se caracterizan aguas residuales, como el caso de la PTAR Canoas.

Aunque en castellano este material se ha mal denominado arenas, la realidad es que este material está compuesto por arenas, grava, material mineral, o compuestos orgánicos difíciles de degradar como cascaras de huevo, pepas de frutas, y semillas (MOP 8, 2009).

Debido a esto, es claro que la cantidad de arenas afluente a cada planta es directamente proporcional a las características de la cuenca que lo alimenta, y a las costumbres y condiciones específicas de las mismas.

PTARs Municipales de Colombia

En Colombia, existen tres PTARs de gran envergadura comparables con la PTAR Canoas.

- PTAR San Fernando. La PTAR San Fernando en Medellín es la planta de aguas municipales domésticas con más años en operación en el país. Esta planta recibe una cantidad de arenas muy superior a lo estimado durante el diseño. CDM Smith ha visitado esta planta y ha realizado visitas específicas al sistema de remoción y tratamiento de arenas de la misma, y los operadores han reportado acumulación excesiva de arenas después del proceso de cribado en el canal de acceso a la estación de bombeo que conduce las aguas a los desarenadores tipo vórtice. Igualmente, en esta planta se ha reportado que el lodo primario contiene una gran cantidad de arenas que no han sido removidas por el desarenador. Debido a esto, el sistema de espesamiento de lodo primario (espesador centrífugo) ha presentado un desgaste aproximadamente 4 veces más alto de lo normal, y ha requerido de mantenimiento adicional por las mismas razones. Adicionalmente, se estima que los digestores anaeróbicos pierden capacidad de reacción a medida que más arenas son depositadas en los mismos.

Según un estudio de consultoría realizado por Hazen & Sawyer en el año 2011, el promedio de recolección de arenas en el PTAR San Fernando es de 22 L de arenas/1000 m³ de agua tratada (3 ft³ de arenas/Mgal de agua tratada). El estudio concluyó que la eficiencia de recolección de arenas era del 22 %, lo cual indicaría que la cantidad de arenas que le entra a la planta es de 100 L de arena/1000 m³ de agua tratado (14 ft³ de arenas/Mgal tratada).

- PTAR Cañaveralejo. La PTAR Cañaveralejo en Cali entró en operación en el año 2000. Al igual que en la PTAR de San Fernando, el sistema de remoción de arenas para esta planta funciona con una eficiencia muy baja debido a que la carga afluente de arenas excedió la capacidad de remoción de las mismas. En el caso de la PTAR Cañaveralejo, el sistema de remoción de arenas de los desarenadores aireados es insuficiente para remover la arena que recibe la planta, al punto que los desarenadores se llenan de arena casi en su totalidad y esta debe ser retirada via retroexcavadoras de los tanques. Así mismo, los digestores anaeróbicos han presentado acumulaciones de arenas excesivas lo que ha requerido sacarlos de servicio para labores de limpieza. CDM Smith obtuvo información de la cantidad de arenas removida de la PTAR Cañaveralejo en los últimos años para su evaluación, pero encontró que el personal de operación solo reporta la poca arena que es removida por el sistema de remoción de arenas la cual es casi que insignificante comparado con la remoción manual via retroexcavadoras. Para el caso de Cali se encontró que la cantidad de arenas era de 9,7 L/1000 m³ de agua tratada (1,32 ft³ arenas/Mgal agua tratada) para condiciones promedio máximas. CDM Smith realizó un análisis de sensibilidad de condiciones máximas mensuales de arenas con diferente eficiencia de los desarenadores (Ver **Tabla 2-7**).

Tabla 2-7 Análisis de sensibilidad de para diferentes eficiencias

Remociones máximas para eficiencias de desarenadores aireados					
Eficiencia Desarenador	5%	10%	15%	20%	25%
Arenas L/1000 m ³	194	97	64,67	48,5	38,8
Arenas ft ³ /Mgal	26,37	13,18	8,79	6,59	5,27

Debido a la evidencia de la baja eficiencia de los desarenadores en Cali y teniendo en cuenta la eficiencia estimada de los desarenadores en la PTAR San Fernando, para CDM Smith no resulta irracional pensar que las eficiencias en el sistema de Cañaveralejo puedan estar a la par o por debajo de las de San Fernando, por lo que se podría estimar que la cantidad de arenas que ingresan a la PTAR Cañaveralejo podría estar entre 64 L/1000 m³ y 100 L/1000 m³, lo cual la pondría cerca al rango estimado en San Fernando.

- PTAR Salitre. La PTAR Salitre entró en operación hace más de diez años. La cantidad de arena removida en los desarenadores que fue reportada para el periodo 2007-2010 es de, aproximadamente, 1 L de arenas/1000 m³ (0,13 ft³ de arenas/Mgal de agua tratada). Este valor es muy inferior a los valores reportados en las otras PTARs en Colombia e inclusive en las PTARs de Estados Unidos. Este comportamiento puede ser explicado por tres variables.
 1. La conducción del afluente a la PTAR Salitre en este momento consiste de un canal abierto con varios kilómetros de longitud que presenta un remanso considerable del afluente permitiendo la sedimentación de arenas antes de la entrada a la PTAR. Adicionalmente, el canal afluente presenta una discontinuidad aguas arriba de la PTAR Salitre, ya que según reportes el canal de aducción fue construido con una profundidad mayor en la zona lejana de la planta la cual es reducida en la zona cercana a la planta creando un área de acumulación de sedimentos donde arenas deben estar siendo atrapadas.
 2. La efectividad de los desarenadores en la PTAR Salitre es otro factor que puede explicar la baja cantidad de arena reportada. El estudio *Consultoría para determinar los costos de*

administración, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales-PTAR El Salitre realizado por CDM presenta evidencia que concluye que los digestores de la PTAR Salitre han perdido volumen de reacción efectivo debido al acumulamiento de arenas en los mismos, sugiriendo que el sistema de desarenación tiene una baja eficiencia y que la cantidad de arenas que ingresa a la planta es mayor a la reportada en los desarenadores.

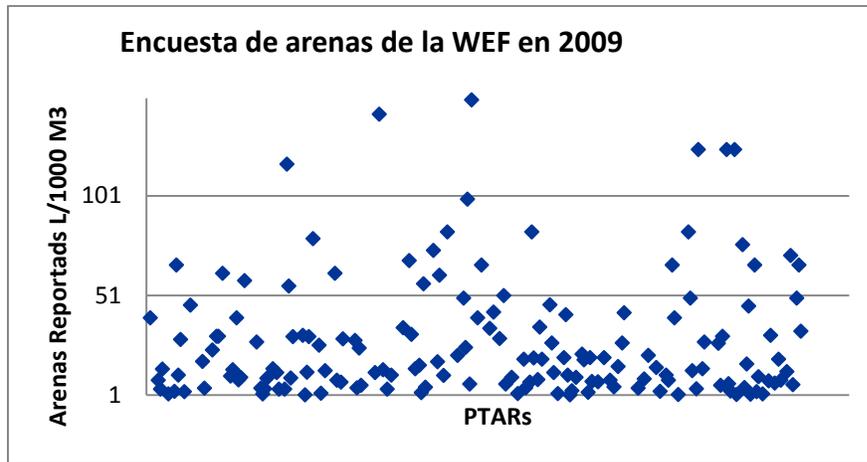
3. El manejo del afluente en la PTAR Salitre puede estar influenciando la cantidad de arenas que ingresan a la planta. Este argumento proviene de la manera como el bypass de la planta es operado, ya que este es activado relativamente frecuentemente accionando las compuertas adyacentes a bombeo a la PTAR Salitre, lo cual permitiría el arrastre de arenas sedimentada en el canal (lo cual es más crítico durante flujos pico cuando las compuertas están abiertas) al punto de entrega del bypass en el río Bogotá.}

Debido a todos estos factores, CDM Smith considera que la información de arenas reportada en la PTAR Salitre no es confiable y no debe de ser usada para la evaluación de la carga de arenas en la PTAR Canoas.

PTARs en los Estados Unidos

- Encuesta General de la WEF. Para evaluar en general la carga de arenas en los Estados Unidos, CDM Smith utilizó la información de una encuesta hecha por la WEF en el 2009. En esta encuesta se obtuvo información de 328 PTARs municipales en ese país. La información muestra que los parámetros reportados de recolección de arenas son variables entre las plantas evaluadas, pero se establece que la media de arenas recolectada es de 38 L arenas/1000 m³ de agua tratada (5 ft³ de arenas/Mgal de agua tratada) con cargas promedio puntuales en algunos casos reportadas de 150 L de arenas /1000 m³ de agua tratada (20 ft³ de arena/Mgal de agua tratada). Cabe anotar que éste número solo reporta lo que los sistemas de desarenación remueven, y en su gran mayoría los sistemas de remoción de arenas en PTARs de Estados Unidos tienen eficiencias medias iguales o menores a 80%. Por lo tanto, la carga de arenas afluente a las plantas puede ser mayor que lo reportado en estas encuestas.
- PTAR Blue Plains, Washington DC. La PTAR de Blue Plains tiene una capacidad de diseño de aproximadamente 16 m³/s promedio y 44 m³/s pico. Esta PTAR recibe cargas de arenas significativas que usualmente no habían podido ser removidas por los sistemas designados para este propósito. Debido a esto al principio de la década del 2000, se empezó un programa para optimizar la recolección de arenas de la planta. El primer paso que se dio fue la de caracterizar la cantidad de arenas que llegaban al sistema. En este estudio se estimó que la cantidad de arenas que se reportaba a la planta era de aproximadamente de 38 L arenas/1000 m³ de agua tratada (5 ft³ de arenas/Mgal de agua tratada) y que los picos podrían ser 15 veces mayores a la carga promedio (Maillard, Young, Bailey, Ramos; 2006). DC Water adoptó estos valores para el diseño de la optimización de los sistemas de recolección de arenas en la PTAR y ha estado operando de manera exitosa una vez estos fueron implementados.

Figura 2-1 Resultados de encuesta realizada en PTARs de E.E.U.U.



Fuente – CDM Smith

Análisis de arenas para la PTAR Canoas

Como se evidencia en la información provista anteriormente, existe una gran diferencia entre la cantidad de arenas en PTARs en Colombia con respecto a la de países desarrollados como Estados Unidos. Esta diferencia puede ser explicada por las diferencia de infraestructura y costumbres entre Colombia y Estados Unidos, por los siguientes factores:

- Topografía. La mayoría de ciudades en los Estados Unidos estas construidas en sitios planos, contrastando con las ciudades en Colombia que generalmente están en terrenos montañosos.
- Conexiones a la red de alcantarillado. En Colombia hace algunos años cuando las ciudades se empezaban a desarrollar y existía la necesidad de canalizar ciertas corrientes pequeñas superficiales, se tendía simplemente a conectar estas pequeñas fuentes al alcantarillado. En épocas de lluvia, estas pequeñas fuentes de agua pueden arrastrar una gran cantidad de material particulado que llegaría a los alcantarillados que alimentan las PTARs.
- Tipos y mantenimiento/estados de las vías vehiculares. El estado de las vías en Colombia es diferente al de Estados Unidos, donde los programas de repavimentación o reparación de vías en concreto ocurren con mayor frecuencia. Debido a esto, en Colombia las vías vehiculares tienden a contribuir mucho más material particulado a las alcantarillas combinadas (que generalmente abarcan grande extensiones de las ciudades como Bogotá), incrementado la cantidad arenas que llega a las PTARs.
- Control de la erosión. En Colombia, existen medidas muy incipientes para el control de la erosión. Los planes para prevenir que material particulado entre en las alcantarillas son casi inexistentes, con excepción de algunas regulaciones asociadas con construcción. Rara vez zonas con poca cobertura vegetal son obligadas a realizar plantaciones de algún tipo para reducir la erosión del suelo, a no ser que sean zonas adyacentes a vías expuestas a derrumbes. Por otra parte, culturalmente es muy usual ver como la mezcla de concreto para edificaciones se realiza en las vías vehiculares de manera manual, lo cual puede contribuir el arrastre de material particulado al sistema de alcantarillado.

Dado todo lo anteriormente expuesto, se puede concluir lo siguiente:

1. Es altamente probable que la carga de arenas a la PTAR Canoas sea significativa. Esta cantidad se estima será mayor que la de las PTARs en los Estados Unidos y dada las costumbres y el estado de la infraestructuras en Colombia debería estar en los rangos reportados en la PTAR San Fernando y los estimados en la PTAR Cañaveralejo.
2. La historia del manejo de arenas en todas las PTAR de gran envergadura en Colombia ha sido relativamente concluyente en que los diseños anteriores resultan insuficientes para manejar el volumen de arenas que reciben las plantas. Tanto en Cañaveralejo como en San Fernando, ya se están realizando estudios y diseños para resolver este problema. Por esta razón, CDM Smith recomienda diseñar la PTAR Canoas para una carga de arenas robusta y consistente con las otras plantas de Colombia, y por ende recomienda adoptar una carga de 75 L de arenas/1000 m³ de agua tratada (10 ft³ de arenas/Mgal de agua tratada) promedio, como base de diseño. Esto sería consecuente con los datos anteriormente expuestos y también está alineado con el rango máximo de carga de arenas promedio sugerido en el MOP 8, 2009.
3. En cuanto a la carga pico de arenas, y basado en la información de CDM Smith (que incluye la encuesta del MOP 8), es normal observar cargas máxicas pico entre 3 a 5 veces el promedio, con algunos ejemplo llegando hasta 15. Para la PTAR Canoas, se anticipa que la carga de arenas sea constantemente por las razones expuestas anteriormente, por lo que CDM Smith recomienda un valor factor pico de carga máxica de 4 con respecto al promedio para este proyecto.

Una vez justificada la carga de arenas, se hace el dimensionamiento del desarenador aireado.

Tabla 2-8. Criterios de diseño para desarenación aireada

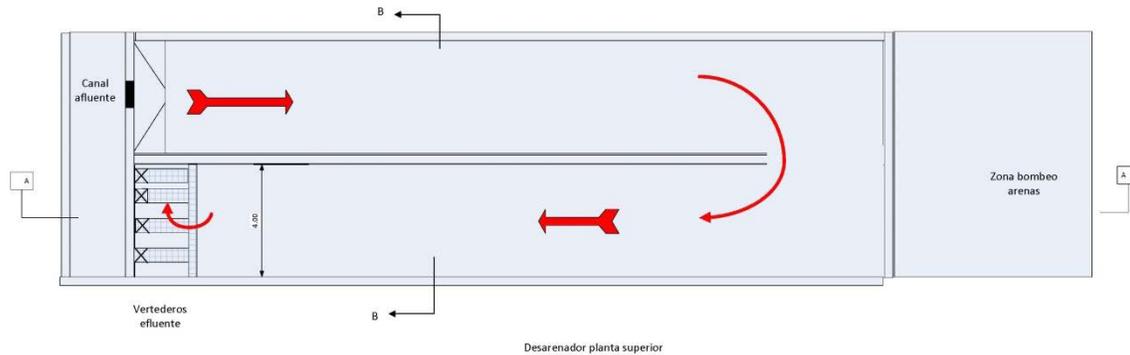
Criterios de diseño			
Parámetro	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Tiempo de retención hidráulico Q_{pico} (min)	3-10	2-5	8,0
Relación ancho - profundidad	0,8 - 1	1-5:1	0,80
Profundidad (m)	3,7 - 5	2-5	5,0
Relación largo - ancho	3-8:1	3-5:1	13,8

Debido a la alta carga de arenas finas que se espera remover en la PTAR Canoas, la unidad de desarenación aireada se dimensiona con tiempos de retención y relación longitud-ancho mayores a los recomendados en la Tabla 2-8. Este dimensionamiento está acorde con las recomendaciones presentadas en el MOP-8 y el tiempo de retención propuesto concuerda con el tiempo de retención diseñado por H&S para la PTAR Salitre.

Por otra parte, cada uno de los canales de desarenado tendrán configuración en U, lo que permite reducir a menos de 30 m la longitud de los tornillos recolectores de arena, dimensión que es estándar. Respecto al ancho del canal, éste sería se aproximadamente 4 m. Esta configuración tiene mayor beneficio de costos que doblar el número de unidades para reducir la longitud a la mitad; además, será

más fácil de operar. En la **Figura 2-2** se muestra un esquema de la configuración del desarenador aireado.

Figura 2-2. Esquema de configuración del desarenador aireado



Fuente: CDM Smith-INGESAM

Tabla 2-9. Dimensionamiento y parámetros de diseño para desarenación aireada

Dimensionamiento			
Parámetros de entrada			
Caudal (m ³ /s)	16	19,7	32
Carga de diseño de arenas (kg/día)	207.000	236.000	828.000
Partícula de diseño (micrones)	150		
Características de unidad y dimensiones			
Número de canales - requeridas	14	14	14
Ancho de canal (m)	4	4	4
Largo (m)	55	55	55
Profundidad (m)	5	5	5
Número de clasificadores	16	16	16

Parámetros de diseño			
Número de canales - operación	14	14	14
Número de canales - totales	14	14	14
Caudal (m ³ /s)	16	19,7	32
Caudal por canal (m ³ /s)	1,14	1,41	2,29
Tiempo de retención (min)	16,0	13,0	8,0
Rango de Remoción de partículas esperado (150 micrones)	85 - 95%		
Remoción de partículas esperado (150 micrones)	90%	90%	90%
Carga másica de Arenas removidas (kg/d)	186.000	212.000	745.000
<i>Verificación n-1 unidades</i>			
Caudal por canal (m ³ /s)	1,23	1,52	2,46

Parámetros de diseño			
Tiempo de retención (min)	14,9	12,1	7,4
Relaciones geométricas			
Relación ancho - profundidad	0,80		
Relación largo - ancho	13,8		

Cabe añadir que la eficiencia del sistema, o rango de remoción de partículas esperado, hace referencia a la eficiencia del desarenador aireado y el porcentaje de arenas removidas hace referencia al porcentaje de arenas asumido de la carga total que será manejado en el pretratamiento, esto para poder asumir un valor de carga para el dimensionamiento de los hidrociclones. De esta manera, 30% de la carga de arenas se usará para dimensionamiento de los hidrociclones.

2.1.3.2 Hidrociclones (desarenación de lodos)

Los criterios de diseño para realizar el dimensionamiento conceptual de hidrociclones para remover arenas del lodo primario se toman de los lineamientos de diseño para sistemas de remoción de arenas de CDM Smith, las recomendaciones de los fabricantes de estos equipos, y experiencia propia del Consultor. La información de referencia utilizada para dimensionar los hidrociclones hará parte de los anexos presentados del Producto 3 y no se anexan al presente documento.

Para este sistema se asume que todos los lodos primarios convergerán en un área adyacente a la distribución de lodos para espesamiento, donde el lodo primario a presión será descargado a los hidrociclones y posteriormente las arenas removidas serán descargadas a los clasificadores/lavadores de arenas.

Tabla 2-10. Dimensionamiento para hidrociclones (desarenación de lodos)

Dimensionamiento	
Parámetros de entrada	
Caudal afluyente PTAR (m ³ /s)	16
Arenas Removidas (del total afluyente)	10%
Carga de arenas de entrada (kg/día)	83.000
Arenas removidas (kg/día)	83.000
factor de seguridad	3
Concentración arenas (mg/L)	20.000
Caudal afluyente de lo arenas (m ³ /hr) *	1.000
Características de unidad y dimensiones	
Capacidad por unidad (m ³ /hr)**	100
Número de unidades requeridas	10
Número de unidades stand-by	2
Número de clasificadores totales asociados	10

* El caudal afluyente de lodo es teniendo en cuenta TPQA con una dosificación de FeCl₃ igual a 30 mg/L. Se asume una frecuencia del bombeo de lodos 50%.

**Los criterios de diseño fueron proporcionados por proveedores

2.2 Tratamiento primario

El objetivo principal del tratamiento primario es la remoción de material sedimentable y disminuir el material suspendido que llega al tratamiento secundario. De acuerdo a las Condiciones y Términos de la Invitación, en la Fase I se debe alcanzar remociones mayores o iguales a 60% de SST y mayores o iguales a 40% de la DBO. En esta sección se realizará el dimensionamiento de un sistema TPQA incluyendo el sistema de mezcla rápida.

El proceso de floculación se tiene previsto realizarlo en la unidad de sedimentación primaria y no en una unidad independiente. Existen varios sistemas de tratamiento de aguas residuales con capacidades similares a la PTAR Canoas (p. ej. Blue Plains WWTP en Washington DC, Hyperion WWTP en Los Ángeles y Point Loma en San Diego) que no tienen unidades independiente de floculación y alcanzan niveles de remoción altos. Adicionalmente, en los últimos años los proveedores de equipos han optimizado las unidades de sedimentación, mejorando las capacidades de estas unidades para llevar a cabo el proceso de floculación.

En la PTAR de Blue Plains la floculación se realiza en las unidades de sedimentación primaria, como se propone en la PTAR Canoas, y alcanzan niveles de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) entre 60 y 80%. En la PTAR Hyperion la floculación se lleva a cabo en los canales de entrada de los clarificadores rectangulares primarios alcanzan remociones de SST de 90%. Finalmente, en la PTAR Point Loma la floculación se lleva a cabo entre los desarenadores aireados y los sedimentadores primarios, alcanzan niveles de remoción de TSS iguales a 90%.

Con base en lo anterior, se considera que el proceso de floculación se puede llevar a cabo en los sedimentadores primarios de manera adecuada y alcanzando los niveles de remoción requeridos. Por otro lado, la construcción de una unidad de floculación adicional se considera innecesaria y se puede omitir sin afectar el proceso.

2.2.1 Cámaras de mezcla rápida

Los criterios de diseño para realizar el dimensionamiento conceptual de la unidad de mezcla rápida se toman del Manual de Práctica No. 8 del Water Environment Federation (WEF) y del Wastewater Engineering: Treatment and Reuse de Metcalf & Eddy.

Tabla 2-11. Criterios de diseño para mezcla rápida

Criterios de diseño			
Criterios	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Gradiente hidráulico (s^{-1})	300-1.500	500-1.500	900
Tiempo de retención hidráulica (s)	30-120	5-30	90

Tabla 2-12. Dimensionamiento para mezcla rápida

Dimensionamiento				
Parámetros de entrada				
Caudal (m ³ /s)	13,6	16	19,7	32
Características de unidad y dimensiones				
Número de unidades - requeridas	4	4	4	4
Largo (m)	9	9	9	9
Ancho (m)	8	8	8	8
Profundidad (m)	5	5	5	5

Tabla 2-13 Parámetros de diseño para mezcla rápida

Parámetros de diseño				
Número de canales - operación	4	4	4	4
Número de canales - totales	4	4	4	4
Caudal (m ³ /s)	13,6	16	19,7	32
Caudal unidad (m ³ /s)	3,4	4,0	4,9	8,0
Tiempo de retención hidráulica (s)	106	90	73	45
<i>Verificación n-1 unidades</i>				
Caudal por unidad (n-1) (m ³ /s)	4,5	5,3	6,6	10,7
Tiempo de retención hidráulica (n-1) (s)	79	68	55	34
Tipo de mezclador	Agitador mecánico de hélice			
Gradiente hidráulico (s ⁻¹)	900			

2.2.2 Dosificación de químicos

Para llevar cabo el tratamiento primario químicamente asistido se propone dosificar FeCl₃ como agente coagulante y polímero aniónico para asistir al proceso de floculación. Las dosificaciones supuestas de operación de adoptaron con base en valores de operación en otros sistema de tratamiento. En la Tabla 2-14 se presentan químicos dosificados y dosis de sistemas de tratamiento operando en TPQA.

Tabla 2-14 Dosificación de PTAR con TPQA

Planta	Sal Metálica	Dosis (mg/L)	Polimero	Dosis (mg/L)	Remoción %SST	Remoción % DBO
Salitre - Bogotá	FeCl ₃	25	Aniónico	0,17	60	40
Cañavalejo - Cali	FeCl ₃	12	Aniónico	0,17	68±5	42±5
Hyperion - Los Angeles	FeCl ₃	40 ⁽¹⁾	Aniónico	0,15	70	50
Point Loma - San Diego	FeCl ₃	36 ⁽¹⁾	Aniónico	0,4	90	61
Blue Plains	FeCl ₃	15-30	Aniónico	0,25	75	40
El Salto - Mexico	FeCl ₃	20-30	Aniónico	2-1,5	-	-

(1) Dosificación utilizada antes de entrar en funcionamiento sistema de control de olores PRISC. Este sistema añade FeCl₃ al agua como parte de su tratamiento

Con base en la información presentada en la **Tabla 2-14** y la experiencia del Consorcio CDM Smith – INGESAM las dosificaciones de químicos se asumieron de la siguiente manera:

- FeCl₃ - 30 mg/L
- Polímero aniónico - 0,3 mg/L

2.2.3 Sedimentadores primarios

Los criterios de diseño para realizar el dimensionamiento conceptual del sistema TPQA se toman del Manual de Práctica 8 (MOP 8) del Water Environment Federation (WEF), del Wastewater Engineering: Treatment and Reuse de Metcalf & Eddy y de la experiencia propia del Consorcio CDM Smith – INGESAM. Los sedimentadores primarios se dimensionaron con los límites superiores de los criterios de diseño de tratamiento primario convencional con cargas hidráulicas relativamente altas teniendo en cuenta que va a funcionar como TPQA en la Fase I y con el fin de ahorrar espacio.

Para sistemas TPQA, el MOP 8 recomienda cargas superficiales de hasta 98 m³/m²/día para caudal máximo horario. Sin embargo, cargas superficiales de hasta 116 m³/m²/día para caudales medio diario se han utilizado en PTARs actualmente en operación (diseñadas por CDM Smith – PTAR Stonecutter y PTAR Deer Island en Boston, MA).

Tabla 2-15. Criterios de diseño para TPQA

Criterios de diseño			
Criterios	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Carga superficial $Q_{MD\ total}$ (m ³ /m ² /día)	30-50	30-50	44
Carga superficial Q_{pico} (m ³ /m ² /día)	-	80-120	88
Remoción SST TPQA (%)	60-90	-	65%
Remoción DBO TPQA (%)	40-70	-	42%

Tabla 2-16. Dimensionamiento para TPQA

Dimensionamiento			
Parámetros de entrada			
Caudal (m ³ /s)	16	19,7	32
SST afluente (kg/día)	339.000	386.000	497.000
SST línea de retorno (kg/día)	27.100	30.900	39.800
SST total (kg/día)	366.000	417.000	537.000
DBO afluente (kg/día)	366.000	462.000	517.000
DBO línea de retorno (kg/día)	18.300	23.100	25.900
DBO total (kg/día)	384.000	485.000	543.000
Dimensiones			
Número de unidades - requeridas	16	16	16
Diámetro por unidad (m)	50	50	50
Área por unidad (m ²)	1.963	1.963	1.963
Profundidad (m)	4,9	4,9	4,9

Tabla 2-17 Parámetros de diseño TPQA

Parámetros de diseño			
Funcionamiento hidráulico			
Caudal (m ³ /s)	16	19,7	32
Caudal por unidades (m ³ /s)	1,0	1,2	2,0
Carga superficial Un. Requ. (m ³ /m ² /día)	44	54	88
<i>Verificación n-1 unidades</i>			
Caudal por unidad (n-1) (m ³ /s)	1,1	1,3	2,1
Carga superficial hidráulica (n-1) (m ³ /m ² /día)	47	58	94
Remociones y tratamiento químico			
Dosificación de FeCl ₃ (mg/L)	30	30	30
Remoción SST	65%	65%	60%
SST Efluente (kg/día)	119.000	135.000	199.000
Remoción DBO	42%	40%	28%
DBO Efluente (kg/día)	212.000	277.000	372.000
Producción de sólidos			
Remoción SST (kg/día)	238.000	271.000	322.000
Lodos químico (kg/día)	39.000	48.000	77.000
Lodo total (kg/día)	277.000	319.000	399.000

2.3 Manejo de lodos

2.3.1 Alternativa digestión anaeróbica convencional

2.3.1.1 Espesamiento

Tabla 2-18. Criterios de diseño para espesamiento primario - espesador circular por gravedad

Criterios de diseño			
Criterios	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Concentración esperada de fondo (%)	5 - 10	5 - 10	5%
Carga de sólidos (kg/día. m ²)	96-144	100-150	113
Carga hidráulica superficial máxima (m ³ /m ² día)	15,5-31	15,5-31	12

Tabla 2-19. Dimensionamiento para espesamiento primario - espesador circular por gravedad

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Lodos a espesar - SST (Kg/d)	277.000	360.000
Concentración de SST (%)	1%	1%
Flujo de lodos (m ³ /d)	27.700	36.000
Características de unidad y dimensiones		

Dimensionamiento		
Carga de sólidos de diseño (kg/m ² *d)	122	122
Área según carga de lodos (m ²)	2.300	3.000
Carga hidráulica superficial (m ³ /m ² *d)	20	20
Área según carga hidráulica (m ²)	1400	1800
Área de diseño (m ²)	2.300	3.000
Diámetro de cada espesador (m)	25	25
Área por espesador (m ²)	491	491
Profundidad (m)	4,3	4,3
Número de requeridas (un)	5	6

Tabla 2-20 Parámetros de diseño para espesamiento primario - espesador circular por gravedad

Parámetros de diseño		
	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Número de unidades en operación	5	6
Número de unidades en totales	6	6
Concentración de lodos a espesar (%)	1%	1%
Carga másica de lodos (kg/día*m ²)	113	122
Carga hidráulica superficial (m ³ /m ² día)	11	12
Características de la torta deshidratada		
Captura de sólidos (%)	95%	95%
Lodos espesados (kg/d)	263.000	342.000
Concentración del espesado (%)	5%	5%
Flujo de lodo espesado (m ³ /d)	5.200	6.700

2.3.1.2 Digestión anaeróbica convencional

Tabla 2-21. Criterios de diseño para digestión anaerobia convencional

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Carga de sólidos volátiles (kg/m ³ d)	1,9-2,5	1,6 - 4,8	2,4
Tiempo retención sólidos, alta tasa (d)	15 - 20	15 - 20	19,5
Destrucción de SSV (%)	45-55	-	55%
Producción de gas, (m ³ /kg) SV destruidos	0,8-1,0	0,75-1,12	0,94
Poder calórico del gas (Btu/ft ³)	500-700	-	600
Poder calórico del gas (Btu/m ³)	17.600-24.700	-	21.200

Tabla 2-22. Dimensionamiento para digestión anaerobia convencional

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Relación SSV/SST, alimento a digestor (%)	60%	60%
Lodos a digerir - SST (Kg/d)	263.000	342.000
Lodos a digerir - SSV (Kg/d)	158.000	205.000
Concentración de SST (%)	5%	5%
Destrucción de SSV(%)	55%	55%
Producción de gas, (m ³ /kg) SV destruidos	0,94	0,94
Poder calórico del gas (Btu/m ³)	21.200	21.200
Flujo de lodos (m ³ /d)	5.200	6.700
Flujo de lodos (m ³ /h)	217	279
Tamaño de digestión según carga de sólidos volátiles		
Carga de sólidos volátiles kg/m ³ *d	2,4	2,4
Volumen total, según carga de lodos (m ³)	65.700	85.200
Tamaño de digestión según tiempo de retención		
Tiempo de retención diseño (día)	18	18
Volumen total según tiempo de retención (m ³)	93.600	120.600
Dimensiones de digestores		
Volumen de diseño (m ³)	93.600	120.600
Altura de cada digestor, H (m)	22	22
Diámetro de cada digestor, d (m)	27	27
Volumen por digestor (m ³)	12.600	12.600
Número de digestores requerido (un)	7,4	9,6

Tabla 2-23 Parámetros de diseño para digestión anaerobia convencional

Parámetros de diseño		
	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Número de unidades en operación	8	10
Número de unidades almacenamiento	2	2
Número de unidades totales	12	12
Volumen de digestores en operación (m ³)	101.000	126.000
Carga de sólidos volátiles (kg/m ³ *d)	1,6	1,6
Tiempo de retención medio (día)	19,4	18,8
Características de lodo digerido		
Flujo de lodo digerido (m ³ /d)	5.200	6.700

Parámetros de diseño		
Sólidos volátiles destruidos - SSV (kg/d)	71.000	92.300
Sólidos totales - SST (kg/d)	176.000	229.000
Peso específico	1,02	1,02
Concentración de SST (%)	3,3%	3,4%
Generación de gas y energía		
Producción de gas. (m ³ /d)	81.700	106.000
Energía calórica del gas (KWH/día)	508.000	659.000

Cabe agregar que las unidades de almacenamiento se refieren a los tanques de almacenamiento de lodos; por lo tanto, el número total de digestores es 10.

2.3.1.3 Deshidratación

Tabla 2-24 Criterios de diseño centrifugas

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Carga de sólidos por unidad (kg/h)	V _{proveedor} ⁽¹⁾	-	1.466
Carga hidráulica por unidad (m ³ /h)	V _{proveedor} ⁽¹⁾	-	43
Contenido de sólidos en la torta (%)	20-25	15-20	28%
Recuperación de sólidos (%)	95	> 90	98%

(1) V_{proveedor} es el valor suministrado por los proveedores

Tabla 2-25 Dimensionamiento centrifugas

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Lodos a deshidratar - SST (Kg/d)	176.000	229.000
Concentración de SST (%)	3,3%	3,4%
Flujo de lodos (m3/d)	5.200	6.700
Flujo de lodos (m3/h)	217	279
Número de centrifugas seleccionadas según carga hidráulica		
Capacidad por unidad (m3/h)	57	57
Número de centrifugas requerido (un)	3,80	4,90
Número de centrifugas seleccionado (un)	4	5
Número de centrifugas seleccionadas según carga de sólidos		
Capacidad por unidad (kg/h)	1.814	1.814
Número de centrifugas requerido	5	6

Tabla 2-26 Parámetros de diseño centrifugas

Parámetros de diseño		
	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Número de unidades en operación	5	6
Número de unidades totales	8	8
Concentración de sólidos a deshidratar (%)	3,3%	3,4%
Carga hidráulica por unidad en operación (m ³ /h)	43,3	46,5
Carga de sólidos por unidad operación (kg/h)	1.500	1.600
Polímero seco kg/ton de solidos en base seca	9	9
Características de la torta		
Recuperación de sólidos (%)	98%	98%
Concentración de sólidos (%)	28%	28%
Sólidos base seca (Kg/d)	172.000	224.000
Torta base húmeda (ton/d)	614	800

2.3.2 Alternativa hidrólisis térmica con digestión anaeróbica

La alternativa de hidrólisis térmica con digestión anaeróbica comparte el proceso de espesamiento de la alternativa de digestión convencional. Los criterios de diseño, dimensionamiento y parámetros de diseño de esta unidad se presentaron anteriormente en el numeral 2.3.1.1.

2.3.2.1 Pre-deshidratación

Tabla 2-27 Criterios de diseño pre-deshidratación – centrifugas

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Carga de sólidos por unidad (kg/h)	V _{proveedor} ⁽¹⁾	-	1.563
Carga hidráulica por unidad (m ³ /h)	V _{proveedor} ⁽¹⁾	-	31
Contenido de sólidos en la torta (%)	12-20	15-20	16%
Recuperación de sólidos (%)	95	> 90	98%

(1) V_{proveedor} es el valor suministrado por el proveedor

Tabla 2-28 Dimensionamiento pre-deshidratación – centrifugas

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Lodos a deshidratar - SST (Kg/d)	263.000	342.000
Concentración de SST (%)	5%	5%
Flujo de lodos (m ³ /d)	5.200	6.700
Flujo de lodos (m ³ /h)	217	279
Número de centrifugas seleccionadas según carga hidráulica		
Capacidad por unidad (m ³ /h)	36	36
Número de centrifugas requerido (un)	6,0	7,7

Dimensionamiento		
Número de centrifugas seleccionadas según carga de sólidos		
Capacidad por unidad (kg/h)	1.814	1.814
Número de centrifugas requerido (un)	6,04	7,9

Tabla 2-29 Parámetros pre-deshidratación – centrifugas

2.3.2.2 Hidrólisis térmica

El dimensionamiento de las unidades de hidrólisis térmica se ha realizado en conjunto con el proveedor. A partir de la información de lodos afluente al sistema de hidrólisis térmica, el proveedor nos ha suministrado un dimensionamiento recomendado.

Tabla 2-30 Dimensionamiento hidrólisis térmica

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Lodos a deshidratar - SST (Kg/d)	258.000	335.000
Concentración de SST (%)	16,0%	17,0%
Gravedad específica lodo (%)	1,05	1,05
Flujo de lodos (m ³ /d)	1.500	1.900
Flujo de lodos (m ³ /h)	63	79
Número de unidades		
Capacidad por unidad (m ³ /d)*	155	155
Número de unidades requerida	10	12
Unidades por tren	4	4
Número de trenes	3	3

* Valor suministrado por los proveedores

Tabla 2-31 Parámetros de diseño hidrólisis térmica

Parámetros de diseño		
	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Número unidades en operación	10	12
Número unidades totales	12	12
Carga por unidad en operación (m ³ /d)	150	158
Características de la torta		
Lodos a deshidratar - SST (Kg/d)	258.000	335.000
Lodo primario- SSV (%)	60%	60%
Lodos a deshidratar - SSV (Kg/d)	155.000	201.000
Concentración de sólidos (%)	10%	10%
Flujo de lodos (m ³ /d)	2.500	3.300

2.3.2.3 Digestión anaeróbica

Tabla 2-32 Criterios de diseño digestión anaeróbica

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Carga de sólidos volátiles (kg/m ³ *d)	1,9-2,5	1,6 – 4,8	4,09
Tiempo retención sólidos, alta tasa (d)	15 – 20	10 - 20	15
Destrucción de SSV (%)	45-55	-	58%
Producción de gas, (m ³ /kg) SV destruidos	0,8-1,0	0,75-1,12	94%
Poder calórico del gas (Btu/f ³)	500-700	-	600
Poder calórico del gas (Btu/m ³)	17.600-24.700	-	21.200

Para el dimensionamiento de los digestores, la concentración de sólidos que entran al proceso de digestión es del 10%. A este porcentaje de concentración no se espera tener problemas de toxicidad, ya que el diseño es consistente con las recomendaciones de proceso del proveedor (por ejemplo, con el diseño de DC Wáter). Diseñar con concentraciones más bajas, del orden del 8%, reduce los beneficios reales del proceso de hidrólisis térmica THP.

Tabla 2-33 Dimensionamiento digestión anaeróbica

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Lodos a digerir - SST (Kg/d)	258.000	335.000
Concentración de SST (%)	10%	10%
Lodos a digerir - SSV (Kg/d)	155.000	201.000
Flujo de lodos (m ³ /d)	2.500	3.300
Relación SSV/SST, alimento a digestor (%)	60%	60%
Destrucción de SSV(%)	58%	58%
Producción de gas, (m ³ /kg) SV destruidos	0,94	0,94
Poder calórico del gas (Btu/m ³)	21.200	21.200
Tamaño de digestión según carga de sólidos volátiles		
Carga de sólidos volátiles kg/m ³ .d	4,8	4,8
Volumen total, según carga de lodos (m ³)	32.300	41.800
Tamaño de digestión según tiempo de retención		
Tiempo de retención diseño (día)	15	15
Volumen total según tiempo de retención (m ³)	37.500	49.500
Dimensiones de digestores		
Volumen de diseño (m ³)	37.500	49.500
Altura de cada digestor, H (m)	22	22
Diámetro de cada digestor, d (m)	27	27
Volumen por digestor (m ³)	12.600	12.600
Número de digestores requerido	3	4

Tabla 2-34 Parámetros de diseño digestión anaeróbica

Parámetros de diseño		
	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Número de unidades en operación	3	4
Número de unidades almacenamiento	2	2
Número de digestores totales	6	6
Volumen de digestores en operación (m3)	37.800	50.400
Carga de sólidos volátiles (kg/m ³ *d)	4,10	3,99
Tiempo de retención medio. (día)	15,1	15,3
Características de lodo digerido		
Flujo de lodo digerido (m3/d)	2.500	3.300
Sólidos volátiles - SSV (kg/d)	65.100	84.400
Sólidos totales - SST (kg/d)	168.000	218.000
Concentración de SST (%)	6,6%	6,5%
Generación de gas y energía		
Producción de gas. (m3/d)	85.000	110.000
Energía calórica del gas (KWH/día)	528.000	683.000

2.3.2.4 Deshidratación

Tabla 2-35 Criterios de diseño deshidratación - filtros prensa de banda

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Concentración esperada de lodo espesado (%)	-	20-25	35%
Captura de sólidos (%)	> 95	-	97%
Carga hidráulica para ancho de banda de 2m (L/min)	760-1900	192-756	250
Carga de sólidos por ancho de banda (kg/h.m)	600-790	360-640	454

Tabla 2-36 Dimensionamiento - filtros prensa de banda

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Lodos a deshidratar - SST (Kg/d)	168.000	218.000
Concentración de SST (%)	6,59%	6,48%
Flujo de lodos (m ³ /d)	2.500	3.300
Flujo de lodos (L/min)	1.700	2.300
Tamaño de banda (m)	2	2
Número de bandas seleccionadas según carga hidráulica		
Capacidad por banda de 2m ancho (L/min)	250	250

Dimensionamiento		
Número de unidades requeridas	6,8	9,2
Número de bandas seleccionadas según carga de sólidos		
Capacidad por banda (kg/h*m)	454	454
Capacidad por banda de 2m ancho (kg/h)	907	907
Número de unidades requeridas	9	10

Tabla 2-37 Parámetros de diseño - filtros prensa de banda

Parámetros de diseño		
	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Número de unidades en operación	8	10
Número de unidades totales	12	12
Carga hidráulica por banda de operación (L/min)	213	230
Carga de sólidos por banda de operación (kg/h.m)	438	454
Características de la torta deshidratada		
Concentración esperada de lodo espesado (%)	35%	35%
Captura de sólidos (%)	97%	97%
Lodo espeso -. SST (Kg/d)	163.000	211.000
Flujo de lodo espesado (m ³ /d)	517	670
Gravedad específica del espesado	1,1	1,1
Torta base húmeda (ton/d)	466	603

3 Fase II

3.1 Tratamiento primario

3.1.1 Sedimentadores primarios

Tabla 3-1 Criterios de diseño sedimentador primario

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Carga superficial Q_{MD} total (m ³ /m ² /día)	30-50	30-50	44
Carga superficial Q_{MH} (m ³ /m ² /día)	-	80-120	88
Remoción SST (%)	50-70	-	60%
Remoción DBO (%)	25-40	-	32%

Tabla 3-2 Dimensionamiento sedimentador primario

Dimensionamiento

Parámetros de entrada			
Caudal (m ³ /s)	16	19,7	32
SST afluente (kg/día)	339.000	386.000	497.000
SST línea de retorno (kg/día)	27.100	30.900	39.800
SST total (kg/día)	366.000	417.000	537.000
DBO afluente (kg/día)	366.300	462.000	517.000
DBO línea de retorno (kg/día)	18.300	23.100	25.900
DBO total (kg/día)	385.000	485.000	543.000
Dimensiones			
Número de unidades - Requeridas	16	16	16
Diámetro por unidad (m)	50	50	50
Area por unidad (m ²)	1.960	1.960	1.960
Profundidad (m)	4,9	4,9	4,9

Tabla 3-3 Parámetros de diseño sedimentador primario

Parámetros de diseño			
Funcionamiento hidráulico			
Caudal (m ³ /s)	16	19,7	32
Caudal por unidad (m ³ /s)	1,0	1,2	2,0
Carga superficial (m ³ /m ² /día)	44	54	88
Remociones			
Dosificación de FeCl ₃ (mg/L)	0	0	0
Remoción SST	60%	58%	55%
SST Efluente (kg/día)	146.000	175.000	242.000
Remoción DBO	32%	30%	20%
DBO Efluente (kg/día)	262.000	340.000	434.000
<i>Verificación n-1 unidades en operación</i>			
Funcionamiento hidráulico			
Caudal (m ³ /s)	16	19,7	32
Número de unidades (n-1)	15	15	15
Caudal por unidades (m ³ /s)	1,1	1,3	2,1
Carga superficial Un. Requ. (m ³ /m ² /día)	47	58	94
Producción de sólidos			
Remoción SST (kg/día)	220.000	242.000	295.000
Lodo total (kg/día)	220.000	242.000	295.000

3.2 Tratamiento secundario

3.2.1 Lodos activados – Alimentación escalonada

Tabla 3-4 Criterios de diseño lodos activados

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Tiempo de retención de sólidos - TRS (días)	3-15	3-15	3
MLSS promedio (mg/L)	2.000-3.500	-	3.134
MLSS primer pase (mg/L)	-	5.000-9.000	4.235
Recirculación (Q_r/Q)	0,25-0,75	0,5-0,75	0,45
Producción de lodos			
Coefficiente de producción de biomasa (Y)	0,4-0,8	0,4-0,8	0,731
Coefficiente de descomposición endógena (k_d)	0,04-0,075	0,06-0,1	0,055
TRH en selector (h)	0,75 - 2	-	0,79

Figura 3-5 Lodos activados por medio de alimentación escalonada

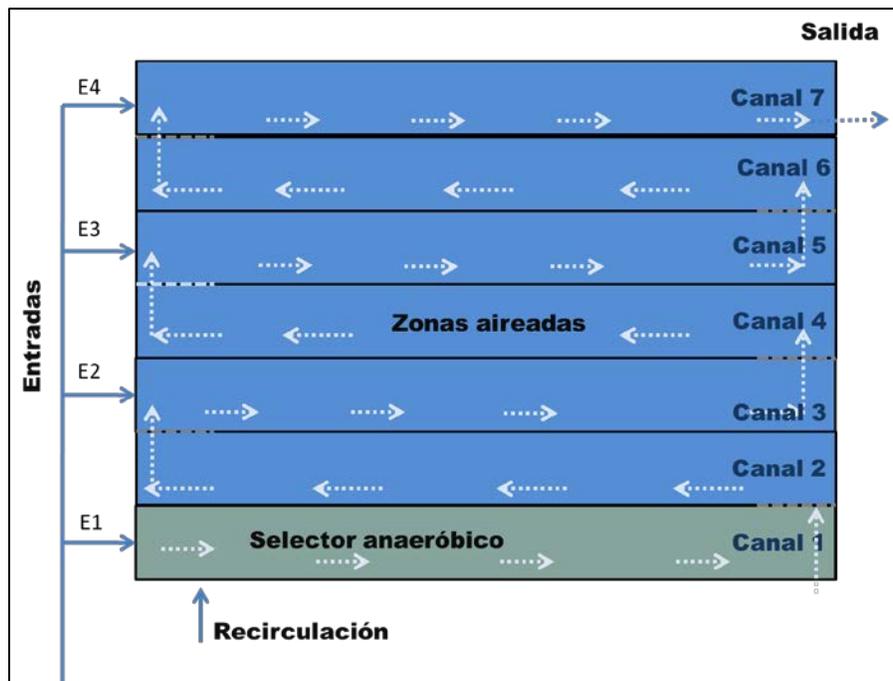


Tabla 3-6 Dimensionamiento lodos activados

Dimensionamiento			
Parámetros de entrada			
Caudal (m^3/s)	16,0	19,7	32,0
DBO afluente (kg/día)	262.000	339.000	431.000
DBO afluente (mg/L)	190	199	156

Dimensionamiento			
MLSS - efluente (mg/L)	2.500	2.500	1.700
IVL (mg/L)	125	125	125
Concentración RAS (mg/L)	8.000	8.000	8.000
Características y dimensiones de las unidades de aireación			
Tipo de tratamiento	Lodos activados		
Modo de operación	Alimentación escalonada		
Tanques de aireación			
Número de unidades totales	8	8	8
Número de unidades en operación para diseño	7	7	7
Largo por unidad (m)	89	89	89
Ancho por unidad (m)	76	76	76
Profundidad por unidad (m)	6,7	6,7	6,7
Canales por unidad	7	7	7
Ancho por canal (m)	10,9	10,9	10,9
Volumen por canal (m ³)	6.474	6.474	6.474
Volumen selector por tanque de aireación (m ³)	6.474	6.474	6.474
Volumen aeróbico por tanque de aireación (m ³)	38.800	38.800	38.800
Volumen total por tanque de aireación (m ³)	45.274	45.274	45.274
Modo de operación de canales			
Canal 1	Selector anaeróbico		
Canal 2-7	Aeróbico		
Recirculación lodo de retorno (%)	45%	45%	-
Recirculación lodo de retorno(m ³ /s)	7,2	8,9	8,9

Tabla 3-7 Parámetros de diseño lodos activados

Parámetros de diseño remoción de DBO			
Caudal (m ³ /s)	16,0	19,7	32,0
Tiempos de retención hidráulica			
Tiempo de retención hidráulica selector (h)	0,79	0,64	0,39
Tiempo de retención hidráulica aeróbica (h)	5,51	4,47	2,75
Tiempo de retención hidráulica tanque de aireación (h)	6,3	5,1	3,1
Requerimientos de producción de sólidos			
DBO efluente (mg/L)	15	15	15
DBO efluente (kg/día)	20.700	25.500	41.500
DBO consumida (kg/día)	241.000	314.000	390.000
<i>Estimación de coeficiente de producción de SSV obs. (MOP 8)</i>		$Y_{obs} = Y/(1+k_d*TRS)$	
Coeficiente de producción de biomasa (Y)	0,731	0,731	0,731
Coeficiente de descomposición endógena - CDE (k_d)	0,055	0,055	0,055
Tiempo de retención de sólidos - TRS (día)	3	3	3
Producción de SSV observada (Y_{obs})	0,64	0,64	0,64
Producción de SSV observada (kg/día)	153.000	200.000	248.000
Relación SSV/SST asumida	0,8	0,8	0,8
SST producidos (kg/día)	191.000	250.000	310.000
SST requeridos en tiempo de retención (kg)	573.000	750.000	930.000

Parámetros de diseño remoción de DBO			
Distribución de alimentación escalonada			
Puntos de alimentación	4	4	4
% de flujo en primer punto de alimentación	40%	40%	40%
% de flujo en segundo punto de alimentación	25%	25%	25%
% de flujo en tercer punto de alimentación	20%	20%	20%
% de flujo en cuarto punto de alimentación	15%	15%	15%
Concentraciones de MLSS			
Primer punto de alimentación	4.240	4.240	-
Segundo punto de alimentación	3.270	3.270	-
Tercer punto de alimentación	2.770	2.770	-
Cuarto punto de alimentación	2.480	2.480	-
Biomasa por canal			
Canal aeróbico # 1 (kg)	27.400	27.400	-
Canal aeróbico # 2 (kg)	21.200	21.200	-
Canal aeróbico # 3 (kg)	21.200	21.200	-
Canal aeróbico # 4 (kg)	17.900	17.900	-
Canal aeróbico # 5 (kg)	17.900	17.900	-
Canal aeróbico # 6 (kg)	16.100	16.100	-
Biomasa total por tanque de aireación (kg)	122.000	122.000	-
Biomasa total disponible (kg)	854.000	854.000	-
Biomasa requerida (kg)	573.000	750.000	-
Tiempo de retención de sólidos (d)	5,4	4,2	3,3

3.2.2 Sedimentación secundaria

Tabla 3-8 Criterios de diseño sedimentación secundaria

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Carga superficial hidráulica $Q_{MD\ total}$ ($m^3/m^2/día$)	12 - 48	16-28	30
Carga superficial hidráulica $pico$ ($m^3/m^2/día$)	65 - 75	40-64	59
Carga superficial de sólidos $Q_{MD\ total}$ ($kg/m^2/día$)	100-150	120-192	106
Carga superficial de sólidos $pico$ ($kg/m^2/día$)	200-240	216	131
Índice volumétrico de lodo con selectores- IVL (mL/g)	120-125	-	125

Para el dimensionamiento de los sedimentadores secundarios, se definió un índice volumétrico de lodo (IVL) igual a 125 mL/g, valor que se considera conservador para el diseño. Soportes de sistemas con este tipo operación se presentarán en el Producto 3.

El número de unidades de sedimentadores secundarios se define con base en las dimensiones comerciales de proveedores, las condiciones hidráulicas del sistema y los requerimientos de operación y mantenimiento. Los sedimentadores se dimensionan con los tamaños comerciales más grandes disponibles y que se hayan instalado previamente en PTARs, con el fin de reducir requerimientos operativos, de mantenimiento y repuestos. Entre las plantas que tienen sedimentadores secundarios con tamaños similares están la PTAR de Detroit (EEUU), la PTAR 69th Street en Houston (EEUU), la PTAR de Memphis (EEUU), la PTAR Miami South Distric (EEUU) y 91st entre otras. El proceso de sedimentación

secundaria no cuenta con unidades en redundancia; sin embargo se verifica que su funcionamiento hidráulico cumple con los criterios de diseño recomendados en el MOP 8 y MetCalf & Eddy, operando con 15 (n-1) unidades.

Tabla 3-9 Dimensionamiento sedimentación secundaria

Dimensionamiento			
Parámetros de entrada			
Caudal (m ³ /s)	16	19,7	32
MLSS (mg/L)	2.500	2.500	1.700
IVL (mL/g)	125	125	125
Concentración lodo de retorno (mg/L)	8.000	8.000	8.000
Características de sedimentadores secundarios			
Número de unidades - operación	16	16	16
Diámetro por unidad (m)	61	61	61
Área por unidad (m ²)	2.922	2.922	2.922
Profundidad (m)	5,2	5,2	5,2

Tabla 3-10 Parámetros de diseño sedimentación secundaria

Parámetros de diseño			
Funcionamiento hidráulico y carga de sólidos			
Caudal (m ³ /s)	16	19,7	32
Caudal por unidad (m ³ /s)	1,0	1,2	2,0
Carga superficial hidráulica (m ³ /m ² /día)	30	36	59
Recirculación lodo de retorno (%)	45%	45%	-
Recirculación lodo de retorno(m ³ /s)	7,2	8,9	8,9
Carga superficial de sólidos (kg/m ² /día)	107	132	132
<i>Verificación n-1 unidades</i>			
Caudal por unidad (n-1) (m ³ /s)	1,1	1,3	2,1
Carga superficial hidráulica (n-1) (m ³ /m ² /día)	32	39	63
Carga superficial de sólidos (n-1) (kg/m ² /día)	114	141	137
Producción de sólidos			
SST de desecho - (kg/día)	191.000	249.000	309.000
Concentración de lodo de desecho (% ST)	0,80%	0,80%	0,80%
Caudal de lodos de desecho (L/s)	276	360	447

3.3 Desinfección

Tabla 3-11 Criterios de desinfección - cloro

Criterios de diseño			
Parámetro	MOP 8 (White 1999)	Metcalfe & Eddy	Criterio adoptado

Dosis de cloro (mg/L)	-	5-15	8
Relación tren L/W	> 40; Ideal 70	> 20; Ideal 40	43
Tiempo de retención hidráulica Q_{MD} total (min)	>30	30-120	30
Tiempo de retención hidráulica Pico (min)	-	15-90	15

Figura 3-1 Esquema unidad de cloración

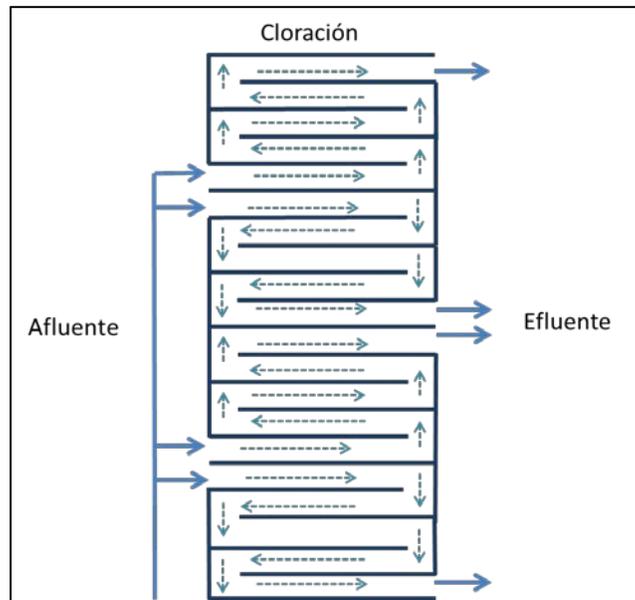


Tabla 3-12 Dimensionamiento de desinfección - cloro

Dimensionamiento			
Parámetros de entrada			
Caudal (m ³ /s)	16	19,7	32
Características y dimensionamiento			
Número de trenes - Operación	4	4	4
Largo tren (m)	320	320	320
Número de canales por tren	5	5	5
Largo canal (m)	64	64	64
Ancho (m)	7,5	7,5	7,5
Profundidad (m)	3	3	3

Tabla 3-13 Parámetros de diseño de desinfección - cloro

Parámetros de diseño			
Número de trenes - Operación	4	4	4
Número de trenes - totales	4	4	4
Funcionamiento hidráulico			
Caudal (m ³ /s)	16	19,7	32
Caudal por tren (m ³ /s)	4,00	4,93	8,00
Tiempo de retención hidráulica (min)	30	24	15
Velocidad (m/min)	10,7	13,1	21,3
Dosificación			

Dosis de cloro (mg/L)	8	8	8
Relaciones geométricas			
Relación L/W	43	43	43

3.4 Manejo de lodos

3.4.1 Alternativa digestión anaeróbica convencional

3.4.1.1 Espesamiento primario

Tabla 3-14 Criterios de diseño espesamiento primario – espesador circular por gravedad

Criterios de diseño			
Criterios	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Concentración esperada de fondo (%)	5 - 10	5 - 10	5%
Carga de sólidos (kg/día. m ²)	96-144	100-150	112
Carga hidráulica superficial máxima (m ³ /m ² día)	15,5-31	15,5-31	12

Tabla 3-15 Dimensionamiento espesamiento primario – espesador circular por gravedad

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Lodos a espesar - SST (Kg/d)	220.000	286.000
Concentración de SST (%)	1%	1%
Flujo de lodos (m ³ /d)	22.000	28.600
Características de unidad y dimensiones		
Carga de sólidos de diseño (kg/m ² *d)	122	122
Área según carga de lodos (m ²)	1.800	2.340
Carga hidráulica superficial (m ³ /m ² *d)	20	20
Área según carga hidráulica (m ²)	1.100	1.430
Área de diseño (m ²)	1.800	2.340
Diámetro de cada espesador (m)	25	25
Área por espesador (m ²)	490,9	490,9
Profundidad (m)	4,3	4,3
Número de espesadores requerido	4	5

Tabla 3-16 Parámetros de diseño espesamiento primario – espesador circular por gravedad

Parámetros de diseño		
Número de unidades en operación	4	5
Número de unidades totales	6	6
Concentración de lodos a espesar (%)	1%	1%
Carga másica de lodos (kg/día*m ²)	112	117
Carga hidráulica superficial (m ³ /m ² día)	11	12
Características de la torta deshidratada		

Parámetros de diseño		
Captura de sólidos (%)	0,95	0,95
Lodos espesados (kg/d)	209.000	272.000
Concentración del espesado (%)	5%	5%
Flujo de lodo espesado (m ³ /d)	4.120	5.360

3.4.1.2 Espesamiento secundario

Tabla 3-17 Criterios de diseño espesamiento secundario - filtros de banda por gravedad

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Concentración esperada de lodo espesado (%)	4 - 6	5 - 7	5%
Captura de sólidos (%)	90 - 98	90-98	95%
Carga hidráulica para ancho de banda de 3m (L/min)	1.100-2.800	1.080-2.820	2.087
Carga de sólidos por ancho de banda (kg/h.m)	300-540	200-600	380

Tabla 3-18 Dimensionamiento espesamiento secundario - filtros de banda por gravedad

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Lodos a deshidratar - SST (Kg/d)	191.000	248.000
Concentración de SST (%)	0,80%	0,80%
Flujo de lodos (m ³ /d)	23.900	31.000
Flujo de lodos (L/min)	16.600	21.500
Tamaño de banda (m)	3	3
Número de bandas seleccionadas según carga hidráulica		
Capacidad por banda de 3m ancho (L/min)	2.820	2.820
Número de unidades requeridas	5,9	7,6
Número de bandas seleccionadas según carga de sólidos		
Capacidad por banda (kg/h*m)	385	385
Capacidad por banda de 3m ancho (kg/h)	1.160	1.160
Número de unidades requeridas	6,9	8,9
Número unidades requeridas	7	9

Tabla 3-19 Parámetros de diseño espesamiento secundario - filtros de banda por gravedad

Parámetros de diseño		
	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Número de unidades en operación	7	9
Número de unidades totales	10	10
Concentración esperada de lodo espesado (%)	5%	5%
Captura de sólidos (%)	95%	95%
Carga hidráulica por ancho de banda operación (L/min)	2.370	2.390
Carga de sólidos por ancho de banda operación (kg/h.m)	379	383

Parámetros de diseño		
Características de la torta deshidratada		
Lodo espeso - SST (Kg/d)	181.000	236.000
Gravedad específica del espesado	1,01	1,01
Flujo de lodo espesado (m ³ /d)	3.600	4.700

3.4.1.3 Digestión

Tabla 3-20 Criterios de diseño digestión anaeróbica convencional

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Carga de sólidos volátiles (kg/m3d)	1,9 - 2,5	1,6 - 4,8	2,10
Máxima carga de volátiles (kg/m3d)	3,2	-	2,15
Tiempo retención sólidos - tasa alta (d)	15 - 20	10-20	18,0
Destrucción de SSV (%)	45-55	-	43%
Producción de gas, (m3/kg) SV destruidos	0,8-1,0	0,75-1,12	0,94
Poder calórico del gas (Btu/f ³)	500-700	-	600
Poder calórico del gas (Btu/m ³)	17.600-24.700	-	21.200

Tabla 3-21 Dimensionamiento digestión anaeróbica convencional

Dimensionamiento		
Parámetros entrada	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Lodos a digerir - SSV (Kg/d)	291.000	379.000
Lodos a digerir - SST (Kg/d)	390.000	508.000
Concentración de SST (%)	5%	5%
Relación SSV/SST lodo afluente	75%	75%
Destrucción de SSV (%)	43%	43%
Producción de gas, (m3/kg) SV destruidos	0,94	0,94
Poder calórico del gas (Btu/m ³)	21.200	21.200
Flujo de lodos (m3/d)	7.700	10.100
Flujo de lodos (m3/h)	321	421
Tamaño de digestión según carga de sólidos volátiles		
Carga de sólidos volátiles diseño kg/m ³ *d	2,40	2,40
Volumen total, según carga de lodos (m ³)	121.100	157.700
Tamaño de digestión según tiempo de retención		
Tiempo de retención diseño (día)	18	18
Volumen total según tiempo de retención (m ³)	138.600	181.800
Dimensiones de digestores		
Volumen de diseño (m ³)	138.600	181.800
Altura de cada digestor, H (m)	22	22
Diámetro de cada digestor, d (m)	27	27
Volumen por digestor (m ³)	12.600	12.600
Número de digestores requerido (un)	11,0	14,4

Tabla 3-22 Parámetros de diseño digestión anaeróbica convencional

Parámetros de diseño		
	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Número de unidades en operación	11	14
Número de unidades de almacenamiento	2	2
Número de unidades totales	16	16
Volumen de digestores en operación (m3)	138.600	176.400
Tiempo de retención en digestores en operación (día)	18,0	17,5
Carga de sólidos volátiles operación kg/m ³ *d	2,10	2,15
Características de lodo digerido		
Flujo de lodo digerido (m3/d)	7.700	10.100
Sólidos volátiles - SSV (kg/d)	166.000	216.000
Sólidos totales - SST (kg/d)	265.000	345.000
Peso específico	1,02	1,02
Concentración de SST (%)	3,4%	3,3%
Generación de gas y energía		
Sólidos volátiles destruidos - SSV (kg/d)	125.000	163.000
Producción de gas. (m3/d)	117.000	153.000
Energía calórica del gas (KWH/día)	727.000	951.000

El número de unidades de almacenamiento se refiere a tanques de almacenamiento de lodo. Así, 14 digestores serán suficientes.

3.4.1.4 Deshidratación

Tabla 3-23 Criterios de diseño deshidratación – centrifugas

Criterios de diseño			
Parámetro	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Carga de sólidos por unidad (kg/h)	V _{proveedor} ⁽¹⁾	-	1.814
Carga hidráulica por unidad (m ³ /h)	V _{proveedor} ⁽¹⁾	-	57
Contenido de sólidos en la torta (%)	20-25	15-20	25%
Recuperación de sólidos (%)	95	> 90	98%

(1) V_{proveedor} es el valor suministrado por los proveedores

Tabla 3-24 Dimensionamiento deshidratación – centrifugas

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Lodos a deshidratar - SST (Kg/d)	265.000	345.000
Concentración de SST (%)	3,4%	3,3%
Flujo de lodos (m3/d)	7.850	10.300
Flujo de lodos (m3/h)	327	429
Número de centrifugas seleccionadas según carga hidráulica		
Capacidad hidráulica por unidad (m3/h)	57	57
Número de centrifugas requerido (un)	5,8	7,6
Número de centrifugas seleccionadas según carga de sólidos		

Dimensionamiento		
Capacidad por unidad (kg/h)	1.814	1.814
Número de centrifugas requerido (un)	6,1	7,9

Tabla 3-25 Parámetros de diseño deshidratación - centrifugas

Parámetros de diseño		
	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Número de unidades en operación	7	8
Número de unidades totales	10	10
Concentración de sólidos a deshidratar (%)	3,4%	3,3%
Carga hidráulica por unidad en operación (m ³ /h)	47	54
Carga de sólidos por unidad operación (kg/h)	1.580	1.800
Polímero seco kg/ton de sólidos en base seca	9	9
Características de la torta		
Recuperación de sólidos (%)	98%	98%
Concentración de sólidos (%)	25%	25%
Sólidos base seca (Kg/d)	260.000	338.000
Torta base húmeda (ton/d)	1.040	1.350

3.4.2 Alternativa hidrólisis térmica con digestión anaeróbica

3.4.2.1 Pre-deshidratación

Tabla 3-26 Criterios de diseño pre-deshidratación - centrifugas

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Carga de sólidos por unidad (kg/h)	V _{proveedor} ⁽¹⁾	-	1.814
Carga hidráulica por unidad (m ³ /h)	V _{proveedor} ⁽¹⁾	-	36
Contenido de sólidos en la torta (%)	12-20	15-20	16%
Recuperación de sólidos (%)	95	> 90	98%

(1) V_{proveedor} es el valor suministrado por el proveedor

Tabla 3-27 Dimensionamiento pre-deshidratación – centrifugas

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Lodos a deshidratar - SST (Kg/d)	390.000	508.000
Concentración de SST (%)	5,1%	5,0%
Flujo de lodos (m ³ /d)	7.700	10.100
Flujo de lodos (m ³ /h)	321	421
Número de centrifugas seleccionadas según carga hidráulica		
Capacidad por unidad (m ³ /h)	36	36
Número de centrifugas requerido (un)	8,8	11,6
Número de centrifugas seleccionadas según carga de sólidos		
Capacidad por unidad (kg/h)	1.814	1.814

Dimensionamiento		
Número de centrifugas requerido (un)	8,96	11,67
Número total de centrifugas requerido (un)	9	12

Tabla 3-28 Parámetros de diseño pre-deshidratación – centrifugas

Parámetros de diseño		
	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Número de unidades en operación	9	12
Número de unidades totales	14	14
Carga de sólidos por unidad en operación (kg/h)	1.810	1.760
Carga hidráulica por unidad en operación (m ³ /h)	36	35
Polímero seco kg/ton de sólidos en base seca	4,5	4,5
Características de la torta		
Recuperación de sólidos (%)	98%	98%
Sólidos base seca (Kg/d)	382.000	498.000
Concentración de sólidos (%)	16%	16%
Torta base húmeda (ton/d)	2.390	3.110

3.4.2.2 Hidrólisis térmica

Tabla 3-29 Dimensionamiento hidrólisis térmica

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Lodos a deshidratar - SST (Kg/d)	382.000	498.000
Concentración de SST (%)	16%	16%
Gravedad específica- SST 16 (%)	1,048	1,048
Flujo de lodos (m ³ /d)	2.280	2.970
Flujo de lodos (m ³ /h)	95	124
Número de unidades		
Capacidad por unidad (m ³ /d)*	155	155
Número de unidades requerida	15,7	19,2
Unidades por tren	4	4
Número de trenes	5	5

* Valor suministrado por los proveedores

Tabla 3-30 Parámetros de diseño hidrólisis térmica

Parámetros de diseño		
	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Número de unidades en operación	15	20
Número de unidades seleccionado	20	20
Carga por unidad en operación (m ³ /d)	152	149
Características de la torta		
Lodos a deshidratar - SST (Kg/d)	382.000	498.000

Parámetros de diseño		
Lodo primario- SSV (%)	75%	75%
Lodos a deshidratar - SSV (Kg/d)	285.000	372.000
Concentración de sólidos (%)	10%	10%
Gravedad específica- SST 10 (%)	1,029	1,029
Flujo de lodos (m ³ /d)	3.700	4.800
Flujo de lodos (m ³ /h)	154	200

3.4.2.3 Digestión

Tabla 3-31 Criterios de diseño digestión anaeróbica

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Carga de sólidos volátiles (kg/m ³ *d)	1,9-2,5	1,6 - 4,8	4,5
Tiempo retención sólidos, alta tasa (d)	15 - 20	10 - 20	16,9
Destrucción de SSV (%)	45-55	-	58%
Producción de gas, (m ³ /kg) SV destruidos	0,8-1,0	0,75-1,12	0,94
Poder calórico del gas (Btu/f ³)	500-700	-	600
Poder calórico del gas (Btu/m ³)	17.600-24.700	-	21.200

Tabla 3-32 Dimensionamiento digestión anaeróbica

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Lodos a digerir - SST (Kg/d)	382.000	498.000
Concentración de SST (%)	10%	10%
Lodos a digerir - SSV (Kg/d)	283.000	368.000
Flujo de lodos (m ³ /d)	3.700	4.800
Relación SSV/SST, alimento a digestor (%)	75%	75%
Destrucción de SSV(%)	58%	58%
Producción de gas, (m ³ /kg) SV destruidos	0,94	0,94
Poder calórico del gas (Btu/m ³)	21.200	21.200
Tamaño de digestión según carga de sólidos volátiles		
Carga de sólidos volátiles kg/m ³ *d	4,8	4,8
Volumen total, según carga de lodos (m ³)	58.890	76.580
Tamaño de digestión según tiempo de retención		
Tiempo de retención diseño (día)	15	15
Volumen total según tiempo de retención (m ³)	55.500	72.000
Dimensiones de digestores		
Volumen de diseño (m ³)	58.890	76.580
Altura de cada digestor, H (m)	22	22
Diámetro de cada digestor, d (m)	27	27
Volumen por digestor (m ³)	12.600	12.600

Dimensionamiento		
Número de digestores requerido (un)	4,7	6,1

Tabla 3-33 Parámetros de diseño digestión anaeróbica

Parámetros de diseño		
	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Número de unidades en operación	5	6
Número de unidades de almacenamiento	2	2
Número de unidades totales	8	8
Volumen de digestores en operación (m ³)	63.000	75.600
Carga de sólidos volátiles kg/m ³ *d	4,49	4,87
Tiempo de retención medio (d)	17,0	15,8
Características de lodo digerido		
Flujo de lodo digerido (m ³ /d)	3.700	4.800
Sólidos volátiles - SSV (kg/d)	119.000	155.000
Sólidos totales - SST (kg/d)	217.000	282.000
Concentración de SST (%)	5,75%	5,76%
Generación de gas y energía		
Sólidos volátiles destruido - SSV (kg/d)	164.000	213.000
Producción de gas. (m ³ /d)	154.000	200.000
Energía calórica del gas (KWH/día)	957.000	1.243.000
Eficiencia producción energía eléctrica (%)	38%	38%
Energía eléctrica producida (KWH/día)	364.000	472.000

3.4.2.4 Deshidratación

Tabla 3-34 Criterios de diseño deshidratación - filtro prensa de banda

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Concentración esperada de lodo espesado (%)	-	20-25	31,5%
Captura de sólidos (%)	> 95	-	97%
Carga hidráulica para ancho de banda de 2m (L/min)	760-1900	192-756	235
Carga de sólidos por ancho de banda (kg/h.m)	600-790	360-640	411

Tabla 3-35 Dimensionamiento deshidratación - filtro prensa de banda

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Lodos a deshidratar - SST (Kg/d)	217.000	282.000
Concentración de SST (%)	5,7%	5,8%
Flujo de lodos (m ³ /d)	3.700	4.800
Flujo de lodos (L/min)	2.570	3.330

Dimensionamiento		
Tamaño de banda (m)	2	2
Número unidades requeridas	11	14

Tabla 3-36 Parámetros de diseño deshidratación - filtro prensa de banda

Parámetros de diseño		
	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Número de unidades en operación	11	14
Número de unidades totales	16	16
Carga hidráulica por ancho de banda (L/min)	234	238
Carga de sólidos por ancho de banda (kg/h.m)	411	420
Características de la torta deshidratada		
Concentración esperada de lodo espesado (%)	31,5%	31,5%
Captura de sólidos (%)	97%	97%
Lodo afluente SST (Kg/d)	210.000	274.000
Flujo de lodo espesado (m ³ /d)	741	966
Torta base húmeda (ton/d)	667	870

4 Fase III

4.1 Tratamiento primario

Tabla 4-1 Criterios de diseño tratamiento primario

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adaptado
Carga superficial Q _{MD} total (m ³ /m ² /día)	30-50	30-50	44
Carga superficial Q _{MH} (m ³ /m ² /día)	-	80-120	88
Remoción SST TPQA (%)	60-90	-	60%
Remoción DBO TPQA (%)	40-70	-	32%

Tabla 4-2 Dimensionamiento tratamiento primario

Dimensionamiento			
Parámetros de entrada			
Caudal (m ³ /s)	16	19,7	32
SST afluente (kg/día)	339.000	386.000	497.000
SST línea de retorno (kg/día)	27.100	30.900	39.800
SST total (kg/día)	366.000	417.000	537.000
DBO afluente (kg/día)	366.000	462.000	517.000
DBO línea de retorno (kg/día)	18.300	23.100	25.850
DBO total (kg/día)	384.000	485.000	543.000
Dimensiones			
Número de unidades - Totales	16	16	16

Dimensionamiento			
Diámetro por unidad (m)	50	50	50
Área por unidad (m ²)	1.963	1.963	1.963
Profundidad (m)	4,9	4,9	4,9

Tabla 4-3 Parámetros de diseño tratamiento primario

Parámetros de diseño			
Funcionamiento hidráulico			
Caudal (m ³ /s)	16	19,7	32
Caudal por unidades (m ³ /s)	1,0	1,2	2,0
Carga superficial (m ³ /m ² /día)	44	54	88
<i>Verificación n-1 unidades</i>			
Caudal por unidad (n-1) (m ³ /s)	1,1	1,3	2,1
Carga superficial hidráulica (n-1) (m ³ /m ² /día)	47	58	94
Remociones de tratamiento			
Remoción SST	60%	58%	55%
SST Efluente (kg/día)	146.000	175.000	242.000
Remoción DBO	32%	30%	20%
DBO Efluente (kg/día)	261.000	340.000	434.000
Químicos para remoción de fósforo			
Dosis de FeCl ₃ (mg/L)	26	23	12
Lodos químico para P (kg/día)	29.300	31.800	24.400
Producción de sólidos			
Remoción SST (kg/día)	220.000	242.000	295.000
Lodo total (kg/día)	249.000	274.000	319.000

4.2 Tratamiento secundario y remoción de nutrientes

4.2.1 Lodos activados de alimentación escalonada

Tabla 4-4 Criterios de diseño lodos activados de alimentación escalonada

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adaptado
Tiempo de retención de sólidos - TRS (días)	3-15	3-15	6,46
MLSS primer pase (mg/L)	-	5.000-9.000	4.800
Recirculación (Q_r/Q)	0,25-0,75	0,5-0,75	0,45
Producción de sólidos			
Coefficiente de producción de biomasa (Y)	0,4-0,8	0,4-0,8	0,731
Coefficiente de descomposición endógena (k_d)	0,04-0,075	0,06-0,1	0,055
Remoción de nitrógeno			
TKN absorbido biológicamente (% biomasa)	12%	12%	9%
Remoción de fósforo			
Absorción biológica de fósforo típica (% biomasa)	1,5-2,5%	1,5-2%	-
Absorción biológica de fósforo OAF (% biomasa)	6-15%	3-6%	5%
Tiempo de retención hidráulica zona anaerobia (h)	0,5-1,5	0,5-1,5	0,97

Criterios de diseño			
Tiempo de retención hidráulica zona aerobia (h)	1-3	1-3	2,10

Figura 4-1 Esquema de alimentación escalonada

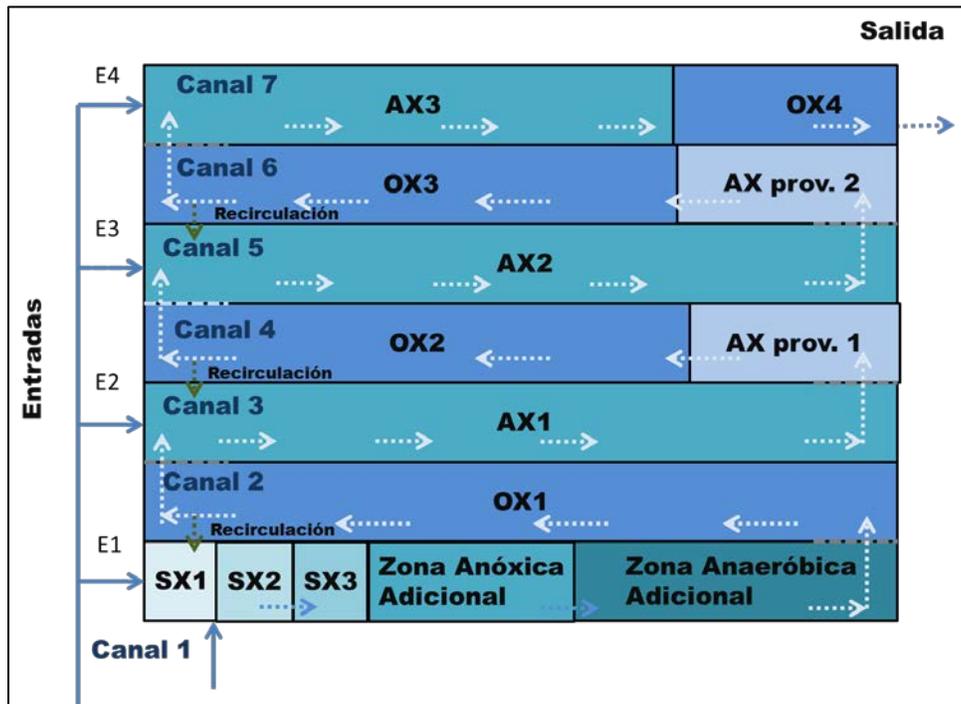


Tabla 4-5 Dimensionamiento lodos activados de alimentación escalonada

Dimensionamiento			
Parámetros de entrada			
Caudal (m ³ /s)	16,0	19,7	32,0
DBO afluente (kg/día)	261.000	340.000	434.000
DBO afluente (mg/L)	189	200	157
MLSS - afluente (mg/L)	2.500	2.500	1.750
IVL (mL/g)	125	125	125
Concentración RAS (mg/L)	8.000	8.000	8.000
TKN afluente (kg/día)	96.800	120.000	135.500
TKN afluente (mg/L)	70	71	49
Fósforo afluente (kg/día)	13.300	15.900	18.000
Fósforo afluente (mg/L)	9,6	9,3	6,5
Temperatura (°C)	16	16	16
Características y dimensiones de las unidades de aireación			
Tipo de tratamiento	Lodos activados		
Modo de operación	Bardenpho por medio de alimentación escalonada		
Tanques de aireación			
Número de unidades - Diseño	23	23	23
Número de unidades - Totales	24	24	24

Dimensionamiento			
Largo por unidad (m)	89		
Ancho por unidad (m)	76		
Profundidad por unidad (m)	6,7		
Canales por unidad	7		
Ancho por canal (m)	10,9		
Volumen por canal (m ³)	6.474		
Modo de operación de canales			
Canal 1	Selector anóxico con zona adicional anóxica y anaeróbica		
Canal 2, 4 y 6	Aeróbico		
Canal 3 y 5	Anóxicos		
Canal 7	Anóxico y aeróbico		
Recirculación lodo de retorno (%)	45%	45%	-
Recirculación lodo de retorno(m ³ /s)	7,2	8,9	8,9
Distribución de alimentación escalonada			
Puntos de alimentación	4	4	4
% de flujo en primer punto de alimentación	30%	30%	-
% de flujo en segundo punto de alimentación	30%	30%	-
% de flujo en tercer punto de alimentación	29%	29%	-
% de flujo en cuarto punto de alimentación	11%	11%	-
Selectores, zona anóxica y zona anaeróbica			
Volumen de selector por unidad (m ³)	583		
% de canal en selector (m ³)	9%		
Volumen zona anóxica por unidad (m ³)	2.913		
% de canal en zona anóxica (m ³)	45%		
Volumen zona anaerobia por unidad (m ³)	2.978		
% de canal en zona anaerobia (m ³)	46%		
Volumen total selector, zona anóxica y anaeróbica (m ³)	6.474		
Zonas anóxicas			
Volumen zona anóxicas 1 y 2 [Canales 3 y 5] - (m ³)	6.474		
% de canal en zonas anoxicas 1 y 2 (m ³)	100%		
Volumen zona anóxica 3 [Canales 7] - (m ³)	4.856		
% de canal en zona anoxica 3 (m ³)	75%		
Zona anóxica provisional 1 [Canal 4] - (m ³)	1.813		
% de canal en zona anóxica provisional 1 - (m ³)	28%		
Zona anóxica provisional 2 [Canal 6]- (m ³)	1.813		
% de canal en zona anóxica provisional 2 - (m ³)	28%		
Volumen total zonas anóxicas por tanque de aireación (m ³)	21.429		
Zonas aerobias			
Volumen zonas aerobias 1 (m ³)	6.474		
% de canal en zonas aerobias 1 (m ³)	100%		
Volumen zonas aerobias 2 y 3 (m ³)	4.661		
% de canal en zonas aerobias 2 y 3 (m ³)	72%		
Volumen zona aerobia 4 (m ³)	1.619		
% de canal en zona aerobia 4 (m ³)	25%		
Volumen total zonas aerobias por tanque de aireación (m ³)	17.415		
Recirculación interna			
Punto de recirculación 1 (PR 1)	De la zona aerobia 1 al selector		

Dimensionamiento			
Caudal recirculación PR1 (m ³ /s)	0,43	0,56	-
Punto de recirculación 2 (PR 2)	De la zona aerobia 2 a la zona anóxica 1		
Caudal recirculación PR2 (m ³ /s)	0,61	0,75	-
Punto de recirculación 3 (PR 3)	De la zona aerobia 3 a la zona anóxica 2		
Caudal recirculación PR3 (m ³ /s)	0,32	0,39	-

* La concentración promedio de licor mezcla MLSS varía dependiendo de la distribución de flujo entre los puntos de alimentación.

Tabla 4-6 Parámetros de diseño remoción de DBO para lodos activados de alimentación escalonada

Parámetros de diseño remoción de DBO			
Caudal (m ³ /s)	16,0	19,7	32,0
Tiempos de retención hidráulica			
Tiempo de retención hidráulica selector (h)	0,24	0,20	0,12
Tiempo de retención hidráulica aeróbica (h)	7,26	5,89	3,63
Tiempo de retención hidráulica tanque de aireación (h)	18,9	15,3	9,4
Requerimientos de remoción			
DBO efluente objetivo (mg/L)	15	15	25
DBO efluente (kg/día)	20.700	25.500	69.100
DBO consumida (kg/día)	240.300	314.500	364.900
Estimación de coeficiente de producción de SSV obs. (MOP 8)	$Y_{obs} = Y/(1+k_d*TRS)$		
Coeficiente de producción de biomasa (Y)	0,731	0,731	0,731
Coeficiente de descomposición endógena - CDE (k_d)	0,055	0,055	0,055
Factor de seguridad para Nitrificación	1,3	1,3	1,3
μ_{mn} (d ⁻¹)	0,32	0,32	0,32
Tiempo de retención de sólidos - TRS (día)	6,46	6,46	6,46
Producción de SSV observada (Y_{obs})	0,55	0,55	0,55
Producción de SSV observada (kg/día)	133.000	174.000	202.000
Relación SSV/SST asumida	0,8	0,8	0,8
SST producidos (kg/día)	166.000	218.000	253.000
SST requeridos en tiempo de retención (kg/día)	1.073.000	1.409.000	1.635.000
Concentraciones de MLSS			
Primer punto de alimentación (mg/L)	4.800	4.800	-
Segundo punto de alimentación (mg/L)	3.429	3.429	-
Tercer punto de alimentación (mg/L)	2.687	2.687	-
Cuarto punto de alimentación (mg/L)	2.483	2.483	-
Biomasa producida por canal			
Canal # 2 - aeróbico (kg)	31.100	31.100	-
Canal # 4 - aeróbico (kg)	16.000	16.000	-
Canal # 6 - aeróbico (kg)	12.500	12.500	-
Canal # 7 - zona aeróbico (kg)	4.000	4.000	-
Biomasa total por tanque de aireación (kg)	63.600	63.600	-
Biomasa total disponible (kg)	1.462.800	1.462.800	-
Biomasa requerida (kg)	1.073.000	1.409.000	-
Tiempo de retención de sólidos (d)	8,2	6,3	4,8

Tabla 4-7 Parámetros de diseño remoción de nitrógeno lodos activados escalonada

Remoción de Nitrógeno			
Caudal (m ³ /s)	16,0	19,7	32,0
Concentración N. Total efluente requerida (mg/L)	26,0	26,0	26,0
Requerimientos de remoción			
TKN afluente (kg/día)	96.800	120.000	135.500
TKN removido en sedimentadores primarios (%)	10%	10%	8%
TKN removido en sedimentadores primarios (kg/día)	9.700	12.000	10.800
TKN en línea de retorno (kg/día)	10.700	13.700	14.100
TKN afluente a tanques de aireación (kg/día)	97.800	122.000	138.800
Fraccionamiento adoptado del TKN afluente			
N. Total efluente objetivo (mg/L)	20	20	26
TKN efluente (mg/L)	4	4	6
NH3 efluente (mg/L)	2	2	2
NO3-N efluente (mg/L)	16	16	20
NH3 lodo de retorno (mg/L)	2	2	2
NH3 lodo de retorno (kg/día)	1.200	1.500	1.500
TKN total afluente a tanques de aireación incluyendo retorno (kg/día)	99.000	123.500	140.300
TKN efluente (kg/día)	5.500	6.800	16.600
% de TKN absorbido por biomasa	9%	9%	9%
Biomasa producida (kg/día)	133.000	174.000	202.000
TKN absorbido por biomasa (kg/día)	12.000	15.700	18.200
TKN a ser oxidada en tanque de aireación (kg/día)	81.500	101.000	105.500
NO-3 efluente objetivo (mg/L)	16	16	20
NO-3 efluente objetivo (kg/día)	22.100	27.200	55.300
Denitrificación requerida (kg/día)	59.400	73.800	50.200
Desnitrificación en tanque de aireación			
Desnitrificación selectores (kg/día)	425	536	-
Desnitrificación zona anóxica adicional (kg/día)	389	481	-
Desnitrificación zona anóxica 1 [Canal 3] (kg/día)	606	735	-
Desnitrificación zona anóxica provisional 1 [Canal 4] - (kg/día)	188	239	-
Desnitrificación zona anóxica 2 [Canal 5] (kg/día)	508	621	-
Desnitrificación zona anóxica provisional 2 [Canal 6] - (kg/día)	175	223	-
Desnitrificación zona anóxica 3 [Canal 7] (kg/día)	296	357	-
Desnitrificación sin zonas anoxicas provisionales (kg/día)	2.200	2.700	-
Desnitrificación con zonas anoxicas provisionales (kg/día)	2.600	3.200	-
Desnitrificación total sin zonas anoxicas provisionales (kg/día)	50.600	62.100	-
Desnitrificación total con zonas anoxicas provisionales (kg/día)	59.800	73.600	-

Tabla 4-8 Remoción de fósforo lodos activados alimentación escalonada

Remoción de Fósforo			
Caudal (m ³ /s)	16,0	19,7	32,0
Concentración Fósforo efluente requerida (mg/L)	5	5	5
Requerimientos de remoción			
Fósforo afluente (mg/L)	9,6	9,3	6,5
Fósforo afluente (kg/día)	13.300	15.900	18.000

Remoción de Fósforo			
Fósforo efluente objetivo (mg/L)	4	4	4
Fósforo efluente objetivo (kg/día)	5.500	6.800	11.100
% de fósforo absorbido por biomasa (remoción biológica)	5%	5%	5%
Biomasa producida (kg/día)	133.000	174.000	202.000
Fósforo absorbido por biomasa (kg/día)	6.650	8.700	10.100
Fósforo en línea de retorno (kg/día)	3.000	3.900	4.500
Remoción adicional de fósforo requerida (kg/día)	4.200	4.300	1.300
Requerimiento FeCl ₃ para precipitación (kg/día)	21.800	22.300	6.800
Requerimiento FeCl ₃ para hidrólisis (kg/día)	13.800	17.000	27.600
Requerimiento FeCl ₃ total (kg/día)	35.600	39.300	34.400
Concentración FeCl₃ (mg/L)	26	23	12
Producción total de lodo químico (kg/día)	29.300	31.800	24.400
Remoción biológica de fósforo			
Volumen de zona anaerobia (m ³)	2.978	2.978	-
Tiempo de retención zona anaerobia (h)	0,97	0,83	-
Volumen de zona aerobia (m ³)	6.474	6.474	-
Tiempo de retención zona aerobia (h)	2,10	1,80	-

4.2.2 Sedimentación secundaria

Tabla 4-9 Criterios de diseño sedimentación secundaria

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adaptado
Carga superficial hidráulica ^{QMD total} (m ³ /m ² /día)	12 - 48	16-28	30
Carga superficial hidráulica ^{pico} (m ³ /m ² /día)	65 - 75	40-64	59
Carga superficial de sólidos ^{QMD total} (kg/m ² /día)	100-150	120-192	106
Carga superficial de sólidos ^{pico} (kg/m ² /día)	200-240	216	131
Índice volumétrico de lodo - IVL (mL/g)	120-125	-	125

Tabla 4-10 Dimensionamiento sedimentación secundaria

Dimensionamiento			
Parámetros de entrada			
Caudal (m ³ /s)	16	19,7	32
MLSS (mg/L)	2.483	2.483	1.735
IVL (mL/g)	125	125	125
Concentración lodo de retorno (mg/L)	8.000	8.000	8.000
Características de sedimentadores secundarios			
Número de unidades - totales	16	16	16
Diámetro por unidad (m)	61	61	61
Área por unidad (m ²)	2.922	2.922	2.922
Profundidad (m)	5,2	5,2	5,2

Tabla 4-11 Parámetros de diseño sedimentación secundaria

Parámetros de diseño			
Funcionamiento hidráulico y cargas de sólidos			
Caudal (m ³ /s)	16	19,7	32
Caudal por unidad (m ³ /s)	1,0	1,2	2,0
Carga superficial hidráulica (m ³ /m ² /día)	30	36	59
Recirculación lodo de retorno (%)	45%	45%	28%
Recirculación lodo de retorno(m ³ /s)	7,2	8,9	8,9
Carga superficial de sólidos (kg/m ² /día)	106	131	131
<i>Verificación n-1 unidades</i>			
Caudal por unidad (n-1) (m ³ /s)	1,1	1,3	2,1
Carga superficial hidráulica (n-1) (m ³ /m ² /día)	32	39	63
Carga superficial de sólidos (n-1) (kg/m ² /día)	114	140	140
Producción de sólidos			
SST de desecho producidos - (kg/día)	166.000	218.000	253.000
Concentración de lodo de desecho (% ST)	0,80%	0,80%	0,80%
Caudal de lodos de desecho (L/s)	240	315	366

4.3 Manejo de Lodos

4.3.1 Digestión anaeróbico convencional

4.3.1.1 *Espeamiento primario - espesadores circulares a gravedad*

Tabla 4-12 Criterios de diseño espeamiento primario - espesador circular por gravedad

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Concentración esperada de fondo (%)	5 - 10	5 - 10	5%
Carga másica de lodos (kg/día.m ²)	96-144	100-150	94
Carga hidráulica superficial (m ³ /m ² día)	15,5-31	15,5-31	9

Tabla 4-13 Dimensionamiento espeamiento primario - espesador circular por gravedad

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Lodos a espesar - SST (Kg/d)	249.000	324.000
Concentración de SST (%)	1%	1%
Flujo de lodos (m ³ /d)	24.900	32.400
Características de unidad y dimensiones		
Carga superficial de lodos (Kg/m ² *d)	122	122
Área según carga de lodos (m ²)	2.041	2.656
Carga hidráulica superficial (m ³ /m ² *d)	20	20

Dimensionamiento		
Área según carga hidráulica (m ²)	1245	1620
Área seleccionada (m ²)	2.656	2.656
Diámetro de cada espesador (m)	25	25
Área por espesador (m ²)	490,9	490,9
Profundidad (m)	4,3	4,3
Número de espesadores requerido	5	6

Tabla 4-14 Parámetros de diseño espesamiento primario - espesador circular por gravedad

Parámetros de diseño		
Parámetros de entrada	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Número de unidades en diseño	5	6
Número de unidades para fermentación *	2	2
Número de unidades totales	8	8
Concentración de lodos a espesar (%)	1%	1%
Carga másica de lodos (kg/día. m ²)	94	110
Carga hidráulica superficial (m ³ /m ² día)	9	11
Características de la torta deshidratada		
Captura de sólidos (%)	95%	95%
Lodos espesados (Kg/d)	237.000	308.000
Concentración del espesado (%)	5%	5%
Flujo de lodo espesado (m ³ /d)	4.675	6.075
Gravedad específica del espesado	1,014	1,014

*Cabe añadir que en Fase III se adicionarán dos espesadores circulares por gravedad que actuarán como fermentadores para aumentar los organismos acumuladores de fósforo y de nitrógeno.

4.3.1.2 *Espesamiento secundario - espesador de banda a gravedad*

Tabla 4-15 Criterios de diseño espesamiento secundario - espesador de banda por gravedad

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Concentración esperada de lodo espesado (%)	4 - 6	5 - 7	5%
Captura de sólidos (%)	90 - 98	90-98	95%
Carga hidráulica para ancho de banda de 3m (L/min)	1.100-2.800	1.080-2.820	2.117
Carga de sólidos por ancho de banda (kg/h.m)	300-540	200-600	385

Tabla 4-16 Dimensionamiento espesamiento secundario - espesador de banda por gravedad

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Lodos a deshidratar - SST (Kg/d)	166.000	215.800
Concentración de SST (%)	0,8%	0,8%
Flujo de lodos (m ³ /d)	20.800	27.000
Flujo de lodos (L/min)	14.400	18.800
Tamaño de banda (m)	3	3
<i>Número de bandas seleccionadas según carga hidráulica</i>		
Capacidad por banda de 3m ancho (L/min)	2820	2820
Número de unidades requeridas	5,1	6,7
<i>Número de bandas seleccionadas según carga de sólidos</i>		
Capacidad por banda (kg/h*m)	385	385
Capacidad por banda de 3m ancho (kg/h)	1155	1155
Número unidades requeridas	6	8

Tabla 4-17 Parámetros de diseño espesamiento secundario - espesador de banda por gravedad

Parámetros de diseño		
	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Número de unidades en operación	6	8
Número de unidades fuera de servicio	4	2
Número de unidades totales	10	10
Concentración esperada de lodo espesado (%)	5%	5%
Captura de sólidos (%)	95%	95%
Carga hidráulica por ancho de banda (L/min)	2.400	2.350
Carga de sólidos por ancho de banda (kg/h.m)	384	375
Características de la torta deshidratada		
Lodo espeso -. SST (Kg/d)	158.000	205.000
Flujo de lodo espesado (m ³ /d)	3.200	4.160
Gravedad específica del espesado	1,01	1,01

4.3.1.3 Digestión anaeróbica convencional

Tabla 4-18 Criterios de diseño digestión anaeróbica convencional

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Carga de sólidos volátiles (kg/m3d)	1,9 - 2,5	1,6 - 4,8	1,79
Tiempo retención sólidos - tasa alta (d)	15 - 20	10-20	19,2

Criterios de diseño			
Destrucción de SSV (%)	45-55	-	46%
Producción de gas, (m ³ /kg) SV destruidos	0,8-1,0	0,75-1,12	0,94
Poder calórico del gas (Btu/f ³)	500-700	-	600
Poder calórico del gas (Btu/m ³)	17.600-24.700	-	21.200

Tabla 4-19 Dimensionamiento digestión anaeróbica convencional

Dimensionamiento		
Parámetros entrada	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Lodos a digerir - SSV (Kg/d)	271.000	352.000
Lodos a digerir - SST (Kg/d)	395.000	513.000
Concentración de SST (%)	5,00%	5,03%
Relación SSV/SST lodo afluente	69%	69%
Destrucción de SSV (%)	46%	46%
Producción de gas, (m ³ /kg) SV destruidos	0,94	0,94
Poder calórico del gas (Btu/m ³)	21.200	21.200
Flujo de lodos (m ³ /d)	7.900	10.200
Flujo de lodos (m ³ /h)	329	425
Tamaño de digestión según carga de sólidos volátiles		
Carga de sólidos volátiles diseño kg/m ³ *d	2,40	2,40
Volumen total, según carga de lodos (m ³)	112.786	146.497
Tamaño de digestión según tiempo de retención		
Tiempo de retención diseño (día)	18	18
Volumen total según tiempo de retención (m ³)	142.200	183.600
Dimensiones de digestores		
Volumen de diseño (m ³)	142.200	183.600
Altura de cada digestor, H (m)	22	22
Diámetro de cada digestor, d (m)	27	27
Volumen por digestor (m ³)	12.596	12.596
Número de digestores requerido	11	15

Tabla 4-20 Parámetros de diseño digestión anaeróbica convencional

Parámetros de diseño		
	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Número de unidades en operación	12	14
Número de unidades de almacenamiento	2	2
Número de unidades totales	16	16
Volumen de digestores en operación (m ³)	151.155	176.347
Tiempo de retención en digestores (día)	19,1	17,3
Carga de sólidos volátiles operación kg/m ³ *d	1,79	2,00
Características de lodo digerido		
Flujo de lodo digerido (m ³ /d)	7.900	10.200

Parámetros de diseño		
Sólidos volátiles destruidos- SSV (kg/d)	146.000	190.000
Sólidos totales - SST (kg/d)	270.000	351.000
Concentración de SST (%)	3,4%	3,4%
Generación de gas y energía		
Producción de gas. (m ³ /d)	116.700	151.600
Energía calórica del gas (KWH/día)	725.100	941.900

4.3.1.4 Deshidratación – centrifugas

Tabla 4-21 Criterios de diseño deshidratación – centrifugas

Criterios de diseño			
Parámetro	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Carga de sólidos por unidad (kg/h)	Vproveedor ⁽¹⁾	-	1.872
Carga hidráulica por unidad (m ³ /h)	Vproveedor ⁽¹⁾	-	55
Contenido de sólidos en la torta (%)	12-20	15-20	24%
Recuperación de sólidos (%)	95	> 90	98%

(1) Vproveedor es el valor suministrado por los proveedores

Tabla 4-22 Dimensionamiento deshidratación – centrifugas

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Lodos a deshidratar - SST (Kg/d)	270.000	351.000
Concentración de SST (%)	3,4%	3,4%
Flujo de lodos (m ³ /d)	7.900	10.200
Flujo de lodos (m ³ /h)	329	425
Número de centrifugas seleccionadas según carga hidráulica		
Capacidad por unidad (m ³ /h)	57	57
Número de centrifugas requerido (un)	5,77	7,46
Número de centrifugas seleccionadas según carga de sólidos		
Capacidad por unidad (kg/h)	1.814	1.814
Número de centrifugas requerido (un)	6,2	8,06

Tabla 4-23 Parámetros de diseño deshidratación – centrifugas

Parámetros de diseño		
	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Número de unidades en operación	7	8
Número de unidades totales	10	10
Concentración de sólidos a deshidratar (%)	3,4%	3,4%
Carga hidráulica por unidad en operación (m ³ /h)	47	53
Carga de sólidos por unidad (kg/h)	1610	1830

Parámetros de diseño		
Polímero seco kg/ton de sólidos en base seca	9	9
Características de la torta		
Recuperación de sólidos (%)	98%	98%
Sólidos base seca (Kg/d)	265.000	344.000
Concentración de sólidos (%)	24%	24%
Torta base húmeda (ton/d)	1.104	1.433

4.3.2 Hidrólisis térmica más digestión anaeróbica

4.3.2.1 Pre-deshidratación

Tabla 4-24 Criterios de diseño pre-deshidratación - centrifugas

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Carga de sólidos por unidad (kg/h)	Vproveedor ⁽¹⁾	-	1.641
Carga hidráulica por unidad (m ³ /h)	Vproveedor ⁽¹⁾	-	35
Contenido de sólidos en la torta (%)	12-20	15-20	16%
Recuperación de sólidos (%)	95	> 90	98%

Tabla 4-25 Dimensionamiento pre-deshidratación - centrifugas

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Lodos a deshidratar - SST (Kg/d)	395.000	513.000
Concentración de SST (%)	5,0%	5,0%
Flujo de lodos (m3/d)	7.900	10.200
Flujo de lodos (m3/h)	329	425
Número de centrifugas seleccionadas según carga hidráulica		
Capacidad por unidad (m3/h)	36	36
Número de centrifugas requerido (un)	9,1	11,7
Número de centrifugas seleccionadas según carga de sólidos		
Capacidad por unidad (kg/h)	1.814	1.814
Número de centrifugas requerido (un)	9,07	11,78
Número de centrifugas requeridas	10	12

Tabla 4-26 Parámetros de diseño pre-deshidratación - centrifugas

Parámetros de diseño		
	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Número de unidades en operación	10	12
Número de unidades totales	14	14
Carga de sólidos por unidad en operación (kg/h)	1.646	1.781

Parámetros de diseño		
Carga hidráulica por unidad en operación (m ³ /h)	33	35
Polímero seco kg/ton de sólidos en base seca	4,5	4,5
Características de la torta		
Recuperación de sólidos (%)	98%	98%
Sólidos base seca (Kg/d)	387.000	503.000
Concentración de sólidos (%)	16%	16%
Torta base húmeda (ton/d)	2.419	3.144

4.3.2.2 Hidrólisis térmica

Tabla 4-27 Dimensionamiento hidrólisis térmica

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Lodos a deshidratar - SST (Kg/d)	387.000	503.000
Concentración de SST (%)	16%	16%
Gravedad específica- SST 16 (%)	1,05	1,05
Flujo de lodos (m ³ /d)	2.310	3.000
Flujo de lodos (m ³ /h)	96	125
Número de unidades		
Capacidad por unidad (m ³ /d)	155	155
Número de unidades requeridas	14,9	19,4
Unidades por tren	4	4
Número de trenes	5	5

* Valor suministrado por los proveedores

Tabla 4-28 Parámetros de diseño hidrólisis térmica

Parámetros de diseño		
	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Unidades en operación	15	19
Número de unidades totales	20	20
Carga por unidad en operación (m ³ /d)	154	158
Características de la torta		
Lodos a deshidratar - SST (Kg/d)	387.000	503.000
Lodo primario- SSV (%)	69%	69%
Lodos a deshidratar - SSV (Kg/d)	266.000	345.000
Concentración de sólidos (%)	10%	10%
Flujo de lodos (m ³ /d)	3.800	4.900

4.3.2.3 Digestión anaeróbica

Tabla 4-29 Criterios de diseño digestión anaeróbica

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Carga de sólidos volátiles (kg/m ³ *d)	1,9-2,5	1,6 – 4,8	4,21
Tiempo retención sólidos, alta tasa (d)	15 – 20	10 - 20	16,8
Destrucción de SSV (%)	45-55	-	58%
Producción de gas, (m ³ /kg) SV destruidos	0,8-1,0	0,75-1,12	0,94
Poder calórico del gas (Btu/f ³)	500-700	-	600
Poder calórico del gas (Btu/m ³)	17.600-24.700	-	21.200

Tabla 4-30 Dimensionamiento digestión anaeróbica

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Lodos a digerir - SST (Kg/d)	387.000	503.000
Concentración de SST (%)	10%	10%
Lodos a digerir - SSV (Kg/d)	266.000	345.000
Flujo de lodos (m ³ /d)	3.800	4.900
Relación SSV/SST, alimento a digestor (%)	69%	69%
Destrucción de SSV(%)	58%	58%
Producción de gas, (m ³ /kg) SV destruidos	0,94	0,94
Poder calórico del gas (Btu/m ³)	21.200	21.200
Tamaño de digestión según carga de sólidos volátiles		
Carga de sólidos volátiles kg/m ³ *d	4,8	4,8
Volumen total, según carga de lodos (m ³)	55.400	71.800
Tamaño de digestión según tiempo de retención		
Tiempo de retención diseño (d)	15	15
Volumen total según tiempo de retención (m ³)	57.000	73.500
Dimensiones de digestores		
Volumen de diseño (m ³)	57.000	73.500
Altura de cada digestor, H (m)	22	22
Diámetro de cada digestor, d (m)	27	27
Volumen por digestor (m ³)	12.596	12.596
Número de digestores requerido (un)	5,5	5,8

Tabla 4-31 Parámetros de diseño digestión anaeróbica

Parámetros de diseño		
	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Número de unidades en operación	6	6
Número de unidades de almacenamiento	2	2

Parámetros de diseño		
Número de unidades totales	8	8
Volumen de digestores en operación (m ³)	75.577	75.577
Carga de sólidos volátiles (kg/m ³ *d)	3,5	4,6
Tiempo de retención medio (d)	19,9	15,4
Características de lodo digerido		
Flujo de lodo digerido (m ³ /d)	3.800	4.900
Sólidos volátiles destruidos - SSV (kg/d)	112.000	145.000
Sólidos totales - SST (kg/d)	233.000	303.000
Concentración de SST (%)	5,96%	6,01%
Generación de gas y energía		
Producción de gas (m ³ /d)	145.000	188.100
Energía calórica del gas (KWH/día)	900.900	1.168.700

4.3.2.4 Deshidratación – filtros prensa de banda

Tabla 4-32 Criterios de diseño deshidratación - filtros prensa de banda

Criterios de diseño			
Criterio	MOP 8	Metcalf & Eddy	Criterio adoptado
Concentración esperada de lodo espesado (%)	-	20-25	30,0%
Captura de sólidos (%)	> 95	-	97%
Carga hidráulica para ancho de banda de 2m (L/min)	760-1900	192-756	237
Carga de sólidos por ancho de banda (kg/h.m)	600-790	360-640	440

Tabla 4-33 Dimensionamiento deshidratación - filtros prensa de banda

Dimensionamiento		
Parámetros de entrada	A flujo promedio	A flujo máximo 14D
Lodos a deshidratar - SST (Kg/d)	233.000	303.000
Concentración de SST (%)	6,0%	6,0%
Flujo de lodos (m ³ /d)	3.800	4.900
Flujo de lodos (L/min)	2.640	3.400
Tamaño de banda (m)	2	2
<i>Número de bandas seleccionadas según carga hidráulica</i>		
Capacidad por banda de 2m ancho (L/min)	250	250
Número de unidades requeridas	10,6	13,6
<i>Número de bandas seleccionadas según carga de sólidos</i>		
Capacidad por banda (kg/h*m)	454	454
Capacidad por banda de 2m ancho (kg/h)	908	908
Número de unidades requeridas	11	14

Tabla 4-34 Parámetros de diseño deshidratación - filtros prensa de banda

Parámetros de diseño		
	<i>A flujo promedio</i>	<i>A flujo máximo 14D</i>
Número de unidades en operación	11	14
Número de unidades totales	16	16
Carga hidráulica por ancho de banda (L/min)	240	243
Carga de sólidos por ancho de banda (kg/h m)	441	451
Características de la torta deshidratada		
Concentración esperada de lodo espesado (%)	30,0%	30,0%
Captura de sólidos (%)	97%	97%
Lodo espeso - SST (Kg/d)	226.000	294.000
Flujo de lodo espesado (m ³ /d)	840	1.090
Gravedad específica del espesado	1,11	1,11
Torta base húmeda (ton/d)	753	980