

Producto 6.

Informe de alternativa
viable

Noviembre 2014



Contrato No.
1-02-25500-0690-2011

Versión: 1

Fecha: 7/ 11 / 2014



REALIZAR EL DISEÑO A NIVEL DE INGENIERÍA DE DETALLE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE "CANOAS" EN LOS COMPONENTES ASOCIADOS AL SISTEMA DE TRATAMIENTO PRIMARIO CON ASISTENCIA QUÍMICA

 **INGESAM**
una compañía de CDM Smith Inc.

**CDM
Smith**

©2014 CDM SMITH. TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS, REUTILIZACIÓN DE DOCUMENTOS: DOCUMENTOS Y DISEÑOS SUMINISTRADOS POR EL SERVICIO PROFESIONAL, INCORPORADOS EN ESTE DOCUMENTO, SON PROPIEDAD DE CDM SMITH Y EAB, NO SERÁN UTILIZADOS, NI TOTAL NI PARCIALMENTE, PARA CUALQUIER OTRO PROYECTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE CDM SMITH Y/O EAB.

PRODUCTO 6. INFORME DE ALTERNATIVA VIABLE

APROBACIÓN DEL INFORME

 <p>Robert Gaudes Director Internacional de la Consultoría Consortio CDM Smith - INGESAM</p>	<p>Fernando Silva Director de la Interventoría Unión Temporal Canoas</p>
<p>Reinaldo Pulido Supervisor del Contrato de Consultoría N° 1-02-25500-0690-2011 Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá</p>	



EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ E.S.P.

CONTRATO No. 1-02-25500-0690-2011

**REALIZAR EL DISEÑO A NIVEL DE INGENIERÍA DE DETALLE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DE "CANOAS" EN LOS COMPONENTES ASOCIADOS AL SISTEMA DE
TRATAMIENTO PRIMARIO CON ASISTENCIA QUÍMICA**

PRODUCTO No. 6

**INFORME DE ALTERNATIVA VIABLE
Versión 01**

Preparado por:
CONSORCIO
CDM Smith - INGESAM SAS

Noviembre de 2014

Tabla de contenido

SECCIÓN 1 INTRODUCCIÓN	1-1
SECCIÓN 2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EL TRATAMIENTO	2-1
2.1 OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO	2-1
2.2 CAUDALES Y CARGAS DE DISEÑO	2-1
2.3 ETAPA 1. IDENTIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS CANDIDATAS	2-2
2.4 ETAPA 2. EVALUACIÓN PRELIMINAR DE TECNOLOGÍAS	2-4
2.5 ETAPA 3. EVALUACIÓN FINAL DE TECNOLOGÍAS	2-5
2.6 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO SELECCIONADAS PARA LA PTAR CANOAS	2-8
SECCIÓN 3 SISTEMA DE TRATAMIENTO SELECCIONADO	3-1
3.1 FASE I	3-1
3.1.1 Línea de agua	3-1
3.1.2 Línea de lodos	3-5
3.2 FASE II	3-8
3.2.1 Línea de agua	3-8
3.2.2 Línea de lodos	3-12
3.3 FASE III	3-12
3.3.1 Línea de agua	3-13
3.3.2 Línea de lodos	3-14
3.4 CONTROL DE OLORES	3-14
3.5 SISTEMA DE COGENERACIÓN	3-15
SECCIÓN 4 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE LAYOUT Y RECOMENDACIÓN	4-1
4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	4-1
4.2 EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE ALTERNATIVAS DE LAYOUT	4-5
SECCIÓN 5 COSTOS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	5-1
5.1 COSTOS DE INVERSIÓN	5-1
5.2 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	5-2
SECCIÓN 6 CONCLUSIONES RELEVANTES DEL ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	6-1
SECCIÓN 7 BIBLIOGRAFÍA	7-1

Lista de tablas

Tabla 2-1 Límites del efluente exigidos para la PTAR Canoas	2-1
Tabla 2-2 Caudales propuestos para el diseño de la PTAR Canoas	2-2
Tabla 2-3 Cargas propuestas para el diseño de la PTAR Canoas	2-2
Tabla 2-4 Tecnologías seleccionadas para llevar a la primera etapa del análisis de alternativas de tratamiento	2-3
Tabla 2-5 Tecnologías seleccionadas en la evaluación preliminar	2-4
Tabla 2-6 Tecnologías comunes a todas las alternativas de sistemas de tratamiento	2-6
Tabla 2-7 Tecnologías de tratamiento seleccionadas para la PTAR Canoas	2-8
Tabla 3-1 Características del cribado medio.....	3-1
Tabla 3-2 Características del cribado fino.....	3-1
Tabla 3-3 Características de las unidades de desarenación aireada	3-3
Tabla 3-4 Características de las unidades de mezcla rápida mecánica.....	3-4
Tabla 3-5 Características de los tanques de sedimentación primaria	3-5
Tabla 3-6 Características de los hidrociclones para desarenación del lodo crudo	3-5
Tabla 3-7 Características de espesadores de lodo primario a gravedad	3-5
Tabla 3-8 Características de las unidades para cribado de lodos.....	3-6
Tabla 3-9 Características de unidades centrífugas para pre-deshidratación del lodo.....	3-6
Tabla 3-10 Características del THP para la Fase I	3-7
Tabla 3-11 Características de la digestión anaeróbica mesofílica para la Fase I.....	3-7
Tabla 3-12 Características de las unidades de deshidratación de lodos	3-8
Tabla 3-13 Características de los tanques de aireación para la Fase II del tratamiento	3-10
Tabla 3-14 Características de los sedimentadores secundarios	3-10
Tabla 3-15 Características del tanque de cloración.....	3-11
Tabla 3-16 Características de las unidades de espesamiento de lodo secundario	3-12
Tabla 3-17 Características de los tanques de aireación para la Fase III	3-13
Tabla 3-18 Características de los biofiltros para control de olores - línea de agua.....	3-14
Tabla 3-19 Características de los biofiltros para control de olores - línea de lodos	3-15
Tabla 3-20 Producción de energía. Cogeneración para las Fases I y II	3-15
Tabla 4-1 Criterios de evaluación para ADCM	4-5
Tabla 4-2 Resultados criterios de evaluación ADCM.....	4-5
Tabla 5-1 Resumen de costos de inversión para la alternativa seleccionada	5-1
Tabla 5-2 Costo de inversión incluyendo AIU, diseños e interventoría, alternativa seleccionada	5-2
Tabla 5-3 Resumen de costos de operación y mantenimiento por fase de tratamiento para la alternativa seleccionada	5-2

Lista de figuras

Figura 3-1 Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de la PTAR Canoas para la Fase I	3-2
Figura 3-2. Esquema de configuración del desarenador aireado	3-3
Figura 3-3 Esquema de un sedimentador primario convencional	3-4
Figura 3-4 Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de la PTAR Canoas para las Fases II y III	3-9
Figura 3-5 Esquema de un tanque de aireación para la Fase II del tratamiento	3-10
Figura 3-6 Esquema del tanque de cloración	3-11
Figura 3-7 Esquema del tanque de aireación para la Fase III	3-13
Figura 4-1 Alternativa 1 de layout en el terreno de Canoas	4-2
Figura 4-2 Alternativa 2 de layout en el terreno de Canoas	4-4

Lista de anexos

Anexo 1. Planos

Anexo 2. Presentación PowerPoint – Alternativa viable

Siglas y abreviaturas

ADCM	Análisis de decisión de criterio múltiple
CAH	Cambios de aire por hora
CTDI	Condiciones y términos de la invitación
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DBOC	Demanda bioquímica de oxígeno carbonácea, DBO ₅
EAB	Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá
DQO	Demanda química de oxígeno
EEARC	Estación elevadora de aguas residuales Canoas
ITB	Interceptor Tunjuelo bajo
ITC	Interceptor Tunjuelo – Canoas
MOP 8	Manual of Practice No. 8 de WEF 2010
MLSS	Sólidos suspendidos en el licor mixto
OAF	Organismos acumuladores de fósforo
O&M	Operación y mantenimiento
POT	Plan de ordenamiento territorial
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
RAS	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico
SST	Sólidos suspendidos totales
SSV	Sólidos suspendidos volátiles
TKN	Nitrógeno total Kjeldahl
TPQA	Tratamiento primario químicamente asistido
TPC	Tratamiento primario convencional

Sección 1

Introducción

En las Condiciones y Términos de la Invitación (CTDI) para realizar el diseño a nivel de ingeniería de detalle de la planta de tratamiento de aguas residuales Canoas (PTAR Canoas), en los componentes asociados al sistema de tratamiento primario con asistencia química, la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB) definió la ejecución de trece (13) productos, los cuales se reúnen en dos grupos: análisis de alternativas (Productos 1 a 6) y diseño de detalle (Productos 7 a 13).

El análisis de alternativas comprende los siguientes alcances generales:

- Producto 1. Recopilación y análisis de la información existente
- Producto 2. Estudios preliminares de campo
- Producto 3. Diseño conceptual
- Producto 4. Costos de inversión, operación y mantenimiento para cada alternativa
- Producto 5. Dimensionamiento de alternativas
- Producto 6. Alternativa viable

Los primeros cinco productos fueron preparados por esta consultoría y sometidos a consideración de la Interventoría y la EAB, de acuerdo con el programa de trabajo y metodología acordado para cada uno de ellos. Los resultados detallados están consignados en los informes que soportan cada producto, los cuales están en poder de la Interventoría y la EAB.

El presente documento corresponde al informe del Producto 6, cuyo alcance comprende un resumen ejecutivo con la propuesta sustentada de la alternativa más conveniente para los intereses de la EAB, en lo que respecta a las tecnologías de tratamiento y a la configuración espacial o layout de la PTAR. El informe está organizado en cinco secciones, con el siguiente contenido:

- Sección 1. Introducción
- Sección 2. Análisis de alternativas tecnológicas de tratamiento
- Sección 3. Sistema de tratamiento seleccionado
- Sección 4. Análisis de alternativas de layout y recomendación
- Sección 5. Costos de inversión, operación y mantenimiento de la alternativa recomendada
- Sección 6. Conclusiones relevantes

Adicionalmente, el informe incluye dos anexos:

- Anexo 1. Planos con los diagramas de procesos y layout de la alternativa viable
- Anexo 2. Presentación en PowerPoint de la alternativa viable

Sección 2

Análisis de alternativas tecnológicas para el tratamiento

El consorcio CDM Smith - INGESAM seleccionó y recomendó el sistema de tratamiento para la PTAR Canoas, a partir de un análisis de alternativas tecnológicas para las distintas operaciones y procesos unitarios. El análisis de alternativas se realizó en tres etapas: inicialmente, se identificó un conjunto de tecnologías probadas en sistemas de tratamiento de características similares, con las cuales se conformó una lista larga de opciones tecnológicas factibles por proceso; a continuación, se realizó una evaluación cualitativa preliminar del conjunto de tecnologías, para seleccionar una lista corta de al menos dos tecnologías por proceso; por último, se realizó una evaluación final de tipo cualitativo y cuantitativo, mediante la cual se seleccionaron las diferentes tecnologías que en su conjunto, conforman el sistema de tratamiento propuesto para la PTAR Canoas. Previamente, y con base en la información disponible en estudios previos y otras fuentes secundarias, se realizó una proyección de los caudales y cargas de diseño para la planta. En esta sección se presenta el resumen de las actividades realizadas para el análisis de alternativas tecnológicas de tratamiento y los resultados y conclusiones del mismo.

2.1 Objetivos del tratamiento

Con base en las metas de descontaminación del río Bogotá, establecidas por el Ministerio del Medio Ambiente (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) en la Resolución 577 de 2000, la EAB definió en las CTDI (numeral 5.5.2) los requerimientos de calidad del vertimiento de la PTAR Canoas para las Fases I, II y III del tratamiento, los cuales se presentan en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1 Límites del efluente exigidos para la PTAR Canoas

Parámetro	Fase I. Remoción con respecto al afluente	Fase II. Concentración máxima del efluente	Fase III. Concentración máxima del efluente
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅ .	≥ 40%	30 mg/L	30 mg/L
Sólidos suspendidos totales, SST.	≥ 60%	30 mg/L	30 mg/L
Nitrógeno, N.	---	---	26 mg/L
Fósforo, P.	---	---	5 mg/L

Fuente: EAB. Invitación Pública No. ICSM-0654-2011. Tabla 5-1 de las Condiciones y Términos de la Invitación (CTDI)

2.2 Caudales y cargas de diseño

Para proyectar los caudales y cargas de diseño para la PTAR, se utilizó información recopilada en el Producto 1, información adicional suministrada por la EAB e información de la Secretaría Distrital de Planeación, relacionada con el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá (Decreto Distrital 364 del 26 de agosto de 2013). La estimación de los valores de caudales y cargas de diseño, se resumen en la Tabla 2-2 y en la Tabla 2-3 respectivamente.

Tabla 2-2 Caudales propuestos para el diseño de la PTAR Canoas

Caudal	(m ³ /s)
Promedio diario de aguas residuales	10,6
Promedio de aguas de dilución	5,4
Promedio diario total de aguas residuales	16,0
Máximo mensual	19,7
Pico horario	21,4
Mínimo diario	13,6
Caudal máximo diario de aguas combinadas	25,6
Máximo de aguas combinadas Q _{MAC} , dilución máxima a admitir en la PTAR	32,0

Tabla 2-3 Cargas propuestas para el diseño de la PTAR Canoas

Parámetro	Carga media (t/d)	Factor pico máximo mensual	Carga máxima mensual (t/d)	Factor pico máximo diario	Carga máxima diaria (t/d)
DBO ₅	366	1,26	462	1,41	515
DQO	810	1,27	1.030	1,4	1.130
SST	339	1,14	386	1,47	497
SSV	238	1,22	290	1,49	354
Alcalinidad	310	1,13	350	1,19	369
NTK	97	1,24	120	1,40	135
Fósforo, PT	13	1,20	16	1,36	18

2.3 Etapa 1. Identificación de tecnologías candidatas

Como primer paso, se realizó una validación de los procesos de tratamiento seleccionados por HMV Ingenieros en el estudio de predimensionamiento de la PTAR Canoas realizado en 2008, la cual concluyó que el tratamiento primario con asistencia química (TPQA) y el proceso de lodos activados, eran las opciones viables para el tratamiento de la línea líquida en las Fases I y II, respectivamente.

A continuación, se investigaron los procesos unitarios y tecnologías que son utilizados a nivel mundial, en plantas de tratamiento de tamaños y características similares a la PTAR Canoas. Para esto, se recopiló información de 30 grandes plantas en todo el mundo, con un caudal medio superior a 7,0 m³/s, con el fin de obtener información de tecnologías que están siendo utilizadas de manera exitosa en la actualidad. Adicionalmente, se identificaron algunas tecnologías que, aunque no han sido utilizadas en plantas de tamaño similar a la PTAR Canoas (p. ej. filtros biológicos aireados y BAF), o están en proceso de implementación (caso de la hidrólisis térmica en la planta Blue Plains, de Washington D.C, USA), se consideró apropiado incluirlas en el análisis, teniendo en cuenta sus características y posibilidades técnicas o económicas. Como resultado de esta investigación, se seleccionó un abanico de opciones tecnológicas por proceso unitario, que eventualmente pudieran ser implementadas en la PTAR Canoas. La lista de las tecnologías candidatas se presenta en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4 Tecnologías seleccionadas para llevar a la primera etapa del análisis de alternativas de tratamiento

Procesos unitarios	Tecnologías
Línea de agua	
Cribado medio (8 mm ≤ Esp. ≤ 38 mm)	Rejas de impulso por cadena
	Rejas reciprocantes
	Rejas catenarias
Cribado fino (1,5 mm ≤ Esp. ≤ 6 mm)	Rejas de impulso por cadena
	Placas perforadas
	Rejas de escalera
	Rejas de tambor
	Rejas banda continua
Desarenación	Desarenador aireado
	Vórtice
	Ciclón (para desarenación de lodo primario)
	Flujo horizontal
Tratamiento primario	Convencional
	TPQA
	Sedimentación de alta tasa
Tratamiento secundario	Lodos activados convencional
	Lodos activados por alimentación escalonada
	Lodos activados aireados con oxígeno de alta pureza
	Filtros biológicos aireados (BAF)
	Filtros percoladores
Remoción de nitrógeno	Filtros biológicos aireados (BAF) + filtros desnitrificadores
	Lodos activados por medio de alimentación escalonada + Filtros desnitrificadores
	Proceso Ludzack-Ettinger modificado - MLE
	Proceso MLE + filtros desnitrificadores
	Lodos activados por medio de alimentación escalonada
	Lodos activados convencionales + Filtros desnitrificadores
	Filtros percoladores + BAF
Remoción de fósforo	Precipitación química
	Proceso biológico
Desinfección	Hipoclorito de sodio
	Cloro gaseoso
	Luz ultravioleta
Línea de lodos	
Espesamiento de lodo primario	Circulares por gravedad
	Centrífugas
	Filtro de banda por gravedad
Espesamiento de lodo secundario	Circulares por gravedad
	Flotación con aire disuelto, DAF
	Centrífugas
	Filtro de banda por gravedad
Digestión anaeróbica	Anaeróbica mesoflica (convencional)
	Anaeróbica mesoflica (ácido/gas)

Procesos unitarios	Tecnologías
	Anaeróbica termofílica
	Hidrólisis térmica + digestión anaeróbica mesofílica
Deshidratación de lodos digeridos	Centrífugas
	Filtro prensa de banda
	Filtro prensa de placas
	Prensa rotatoria

2.4 Etapa 2. Evaluación preliminar de tecnologías

Una vez identificadas las opciones tecnológicas candidatas por cada proceso, se procedió a una evaluación preliminar cuyo propósito fue seleccionar al menos dos alternativas por proceso, de acuerdo a lo solicitado en las CTDI. En este punto de la evaluación, se valoraron las posibles opciones tecnológicas para el control de olores en la planta, las cuales corresponden a tecnologías de uso común en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales similares a la PTAR Canoas.

Esta evaluación preliminar consistió en un análisis cualitativo tipo tamizado, el cual se aplicó con el fin de establecer entre el conjunto de opciones iniciales y para cada proceso, aquellas tecnologías que proporcionan las mayores ventajas para la PTAR Canoas. Los siguientes criterios fueron utilizados para la evaluación:

- Costos de inversión
- Costos de operación y mantenimiento
- Eficiencia del proceso
- Confiabilidad
- Flexibilidad
- Requerimientos de espacio
- Requerimientos de energía
- Aspectos ambientales durante la operación (tráfico, ruido y olores ofensivos, entre otros)
- Capacidad para manejo de requerimientos futuros

El conjunto de tecnologías seleccionadas en esta evaluación preliminar, se presenta en la Tabla 2-5.

Tabla 2-5 Tecnologías seleccionadas en la evaluación preliminar

Operaciones y procesos unitarios de tratamiento	Tecnologías
Línea de agua	
Cribado medio (8 mm ≤ Esp. ≤ 38 mm)	Rejas de impulso por cadena
	Rejas reciprocantes
Cribado fino (1,5 mm ≤ Esp. ≤ 6 mm)	Rejas de impulso por cadena
	Placas perforadas
Desarenación	Desarenador aireado

Operaciones y procesos unitarios de tratamiento	Tecnologías
	Vórtice
	Ciclón (para desarenación de lodo primario)
Tratamiento primario	TPQA
	Sedimentación de alta tasa
Tratamiento secundario	Lodos activados convencionales
	Lodos activados por alimentación escalonada
	Filtros biológicos aireados (BAF)
	Filtros percoladores
Remoción de nitrógeno	Filtros biológicos aireados (BAF) + filtros desnitrificadores
	Lodos activados por medio de alimentación escalonada + Filtros desnitrificadores
	Lodos activado por medio de alimentación escalonada
	Filtros percoladores + BAF
Remoción de fósforo	Precipitación química
	Proceso biológico
Desinfección	Hipoclorito de sodio
	Luz ultravioleta
Línea de lodos	
Espesamiento de lodo primario	Circulares por gravedad
	Centrífugas
Espesamiento de lodo secundario	Centrífugas
	Filtro de banda por gravedad
Digestión anaeróbica	Anaeróbica mesofílica (convencional)
	Hidrólisis térmica + digestión anaeróbica mesofílica
Deshidratación de lodos digeridos	Centrífugas
	Filtro prensa de banda
Control de olores	
Línea de agua/ Línea de lodos	Biofiltros construidos
	Depuradores químicos

2.5 Etapa 3. Evaluación final de tecnologías

Las tecnologías seleccionadas en la evaluación preliminar fueron sometidas a una evaluación final más detallada, con el fin de seleccionar aquellas que en su conjunto, conforman el sistema de tratamiento de la PTAR Canoas, en sus tres fases. El procedimiento metodológico seguido para esta etapa final de la evaluación de alternativas tecnológicas, incluyó las siguientes actividades:

- Dimensionamiento de las unidades de tratamiento de cada alternativa tecnológica. Teniendo en cuenta los objetivos de calidad del efluente definidos para cada fase del tratamiento, con base en los caudales y cargas de diseño proyectados para la planta, y aplicando parámetros y procedimientos de diseño que hacen parte de la práctica común en el campo del tratamiento de aguas residuales, se realizó el dimensionamiento preliminar de las unidades de tratamiento correspondientes a cada operación y proceso unitario, a partir del cual se definió el número de unidades de tratamiento, la geometría de las estructuras y reactores principales, y las dimensiones internas de cada unidad de tratamiento; igualmente, se efectuaron consideraciones sobre la redundancia de unidades y equipos en la planta de tratamiento. El

dimensionamiento y operación de las distintas alternativas se corroboró mediante modelaciones con software especializado.

- Selección de tecnologías comunes a las alternativas de sistemas de tratamiento. Un conjunto de tecnologías, como por ejemplo las correspondientes al tratamiento preliminar, desinfección del efluente secundario, espesamiento de lodos crudos y deshidratación de lodos digeridos, se considera que son comunes a todas las alternativas de sistemas de tratamiento que se configuren para las Fases I, II y III de la planta. Dichas tecnologías fueron seleccionadas mediante un análisis cualitativo, con base en criterios similares a los empleados en la etapa de evaluación preliminar. En la Tabla 2-6 se relacionan las tecnologías seleccionadas mediante este análisis.

Tabla 2-6 Tecnologías comunes a todas las alternativas de sistemas de tratamiento

Procesos unitarios	Tecnologías
Línea de agua	
Cribado medio (8 mm ≤ Esp. ≤ 38 mm)	Rejas de impulso por cadena
Cribado fino (1,5 mm ≤ Esp. ≤ 6 mm)	Rejas de impulso por cadena
Desarenación	Desarenador aireado
	Ciclón (para desarenación de lodo primario)
Remoción de fósforo	Combinación de procesos de precipitación química y biológico
Desinfección	Hipoclorito de sodio
Línea de lodos	
Espesamiento de lodo primario	Circulares por gravedad
Espesamiento de lodo secundario	Filtro de banda por gravedad
Deshidratación de lodos digeridos	Filtro prensa de banda

- Selección de tecnologías para tratamiento primario, secundario, remoción de nitrógeno y digestión anaeróbica. Para la selección de las tecnologías correspondientes a estos procesos se realizó una evaluación cuantitativa mediante un Análisis de Decisión de Criterio Múltiple (ADCM), herramienta ampliamente utilizada para la evaluación de alternativas, que facilita la toma de decisión por medio de un método sistemático de análisis. Los resultados obtenidos, fueron los siguientes:
 - Tratamiento primario: Con base en los resultados del ADCM, la alternativa de TPQA es la más adecuada para implementar en la PTAR Canoas. Esta alternativa presenta ventajas frente a la sedimentación de alta tasa en aspectos como los costos de inversión y el menor requerimiento de productos químicos, lo que repercute directamente sobre los costos de operación. Además, es una tecnología de alta confiabilidad, que ha sido utilizada exitosamente en varias plantas de tratamiento de gran tamaño, tanto existentes como nuevas, y tiene gran flexibilidad y relativa facilidad de operación.
 - Tratamiento secundario y remoción de nitrógeno: Si se considera que en la Fase III del tratamiento se debe realizar la remoción biológica de nutrientes, las tecnologías de tratamiento para la Fase II deben analizarse desde esta perspectiva. Los resultados del ADCM permitieron concluir que la alternativa de lodos activados con alimentación escalonada o por pasos, es la opción más adecuada para implementar en la PTAR Canoas. Esta alternativa presenta ventajas frente a las otras alternativas consideradas, en aspectos

como costos de inversión; costos de operación, principalmente por el hecho de no requerir una fuente externa de carbono; confiabilidad, ya que es una tecnología que es utilizada exitosamente en varias plantas de tratamiento de gran tamaño; flexibilidad y relativa facilidad de operación.

- **Digestión anaeróbica:** Los resultados del ADCM muestran que la opción de incluir la tecnología de hidrólisis térmica para pre-tratamiento del lodo antes de la digestión anaeróbica convencional mesofílica, es la más adecuada para implementar en la PTAR Canoas. Esta solución está acorde con la tendencia mundial actual en el manejo de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, que considera maximizar los potenciales beneficios del procesamiento del lodo, para lograr ventajas como por ejemplo, la optimización del balance de energía en la planta y la obtención de un biosólido clase A, con mayores posibilidades de aprovechamiento comercial. Otras ventajas de la implementación de esta solución incluyen los menores requerimientos de volumen de los digestores anaeróbicos y la menor producción de biosólidos, lo que finalmente redundará en menores requerimientos de espacio y costos operativos y de mantenimiento más bajos que cuando se considera solamente la digestión anaeróbica convencional mesofílica.
- Selección de tecnología para control de olores. Una vez definidos los procesos de tratamiento y áreas de la planta donde se requiere realizar el control de olores ofensivos, se establecieron cinco sistemas de control considerando aspectos como la cercanía entre las unidades de tratamiento, la cantidad de olor generado por proceso y la cantidad de aire a ser tratado. Definidos los requerimientos de tratamiento de aire para cada sistema, y luego de dimensionar las unidades de proceso para cada una de las tecnologías candidatas, biofiltros y torres de depuración química, se realizó una evaluación técnica y económica de las dos opciones tecnológicas. A partir de éste análisis, se recomendó el uso de biofiltros para tratar los olores generados en la PTAR Canoas. Esta tecnología presenta ventajas frente a los depuradores químicos en aspectos como los costos de inversión; costos de operación, ya que no requieren químicos y la energía requerida es mínima; y, facilidad en la operación.
- Adición del sistema de cribado de lodos. La implementación de la tecnología de hidrólisis térmica como paso previo al proceso de digestión anaeróbica mesofílica, requiere un pretratamiento del lodo crudo a través de un proceso de cribado. Con base en experiencias de plantas con características similares en tamaño y complejidad a PTAR Canoas, se recomendó el uso de tamiz rotatorio a presión. Esta tecnología ha sido utilizada de manera exitosa en varias plantas de tratamiento (p. ej. Ringsend, en Irlanda y Blue Plains, en Washington DC, USA), demostrando ser una de las tecnologías más robustas y adecuadas para llevar a cabo este proceso.
- Selección del sistema de cogeneración. El sistema de cogeneración está directamente relacionado con la tecnología escogida para la digestión de los lodos. El análisis realizado para motores de combustión interna y turbinas, dio como resultado el uso de motores como sistema de cogeneración para la PTAR Canoas. Teniendo en cuenta los requerimientos del sistema de digestión por THP, el sistema de cogeneración de la PTAR estará compuesto por motogeneradores y calderas pirotubulares, dada la alta eficiencia del proceso en comparación con las turbinas de gas. La baja eficiencia en la producción de energía térmica en los motores se ve compensada por su alta eficiencia en la generación de energía eléctrica; sin embargo, para cumplir los requerimientos de vapor de la THP, se usarán las calderas.

2.6 Tecnologías de tratamiento seleccionadas para la PTAR Canoas

De acuerdo con el análisis de alternativas antes descrito, en la Tabla 2-7 se relacionan las tecnologías que conforman el sistema de tratamiento para la PTAR Canoas.

Tabla 2-7 Tecnologías de tratamiento seleccionadas para la PTAR Canoas

Operación o proceso unitario	Tecnología
Línea de agua	
Cribado medio (8 mm ≤ Esp. ≤ 38 mm)	Rejas de impulso por cadena
Cribado fino (1,5 mm ≤ Esp. ≤ 6 mm)	Rejas de impulso por cadena
Desarenación	Desarenador aireado
Tratamiento primario	TPQA
Tratamiento secundario	Lodos activados por alimentación escalonada
Remoción de nitrógeno	Lodos activados por medio de alimentación escalonada, con zonas anóxicas
Remoción de fósforo	Precipitación química + proceso biológico
Desinfección	Hipoclorito de sodio
Línea de lodos	
Desarenación de lodos primarios	Hidrociclones
Espesamiento de lodo primario	Espesadores circulares por gravedad
Cribado de lodos primarios	Tamices rotatorios a presión
Espesamiento de lodo secundario	Espesadores de banda por gravedad
Pre deshidratación de lodos	Centrífugas
Digestión anaeróbica	Hidrólisis térmica + digestión anaeróbica mesofílica
Deshidratación de lodos digeridos	Filtro prensa de banda
Línea de gas	
Control de olores	Biofiltros construidos
Cogeneración	Motogeneradores y calderas piro-tubulares

Sección 3

Sistema de tratamiento seleccionado

En esta sección se presenta una descripción general del sistema de tratamiento seleccionado y de las dimensiones básicas de cada operación y proceso unitario. La descripción incluye los procesos de la línea de agua y línea de lodo, los cuales harán parte de las diferentes fases del proyecto; también, los sistemas de control de olores y el sistema de cogeneración eléctrica, como parte de la línea de gas.

3.1 Fase I

La primera fase para la PTAR Canoas comprende un tratamiento primario con asistencia química (TPQA), mediante el cual se espera una reducción del 40% de la carga de DBO₅ y 60% de la carga de SST. En la Figura 3-1 se muestra un diagrama de flujo con las operaciones y procesos unitarios de tratamiento seleccionados por CDM Smith – INGESAM para esta fase.

3.1.1 Línea de agua

Las operaciones y procesos unitarios de la línea de agua que hacen parte de esta fase incluyen tratamiento preliminar, conformado por cribado y desarenación; y, tratamiento primario, compuesto por unidades de mezcla rápida mecánica y sedimentadores circulares a gravedad.

3.1.1.1 Tratamiento preliminar

3.1.1.1.1 Cribado medio y fino

La operación de cribado consiste en un cribado medio de 25 mm de espaciamiento, seguida de un cribado fino de 6 mm de espaciamiento. La tecnología recomendada en ambos casos es con rejas de rastrillo múltiple. El sistema trabajará en serie; es decir, que a cada reja de cribado medio le seguirá una reja de cribado fino, instaladas ambas en un mismo canal. Se ha previsto una redundancia de n+2. Los canales se dimensionaron con los tamaños comerciales más grandes disponibles, con el fin de reducir requerimientos operativos y de mantenimiento. La redundancia propuesta cumple con el criterio general exigido en las CTDI de n+1, para equipos. Las dimensiones y el número de unidades para cada tipo de cribado se muestran en la Tabla 3-1 y en la Tabla 3-2.

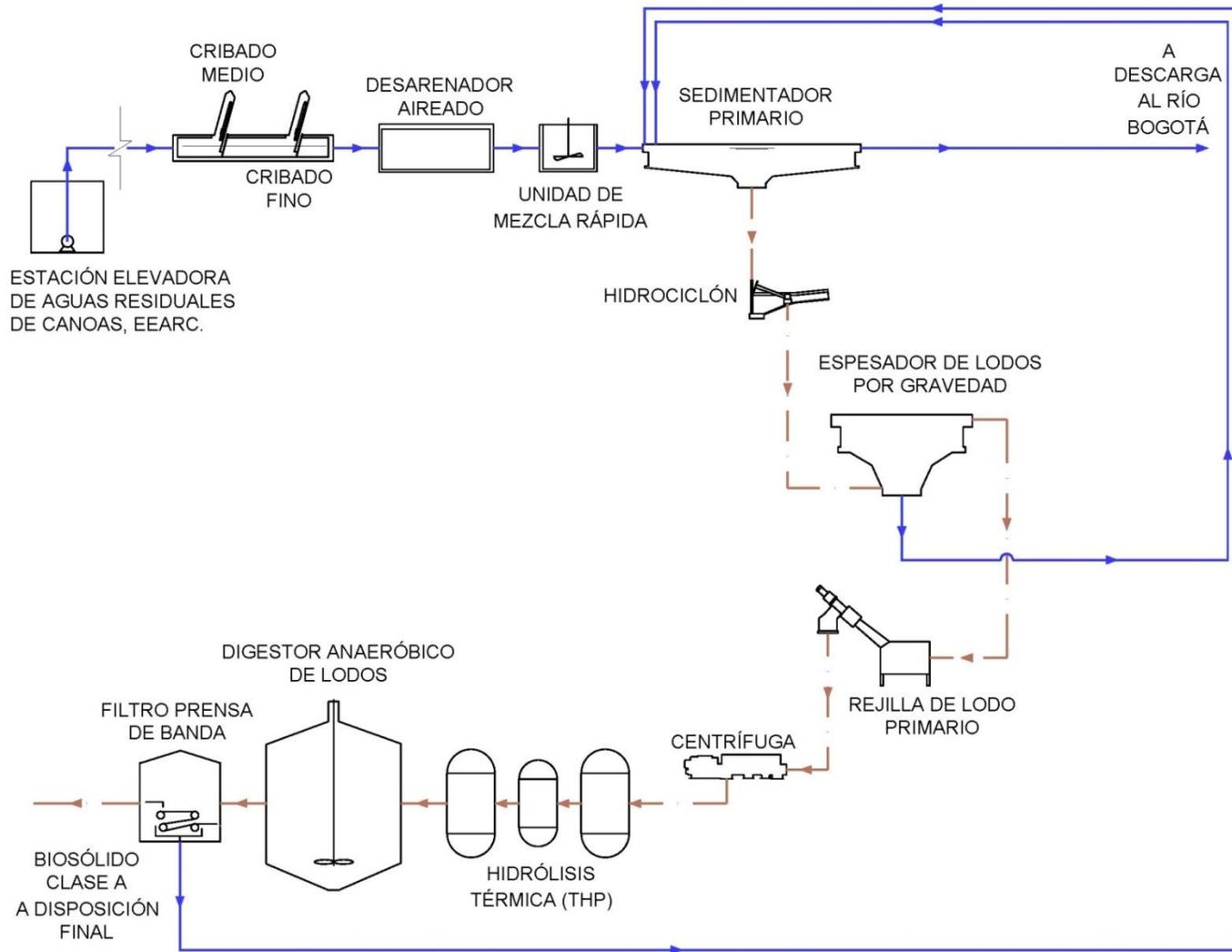
Tabla 3-1 Características del cribado medio

Dimensionamiento				
Número total de canales	12			
Número de canales – stand by	2			
Número de canales a operar	5 a 10 de acuerdo al flujo			
Ancho de canal (m)	2,5	2,5	2,5	2,5
Espaciamiento (mm)	25	25	25	25

Tabla 3-2 Características del cribado fino

Dimensionamiento				
Número total de canales	12			
Número de canales – stand by	2			
Número de canales a operar	5 a 10 de acuerdo al flujo			
Ancho de canal (m)	2,5	2,5	2,5	2,5
Espaciamiento (mm)	6	6	6	6

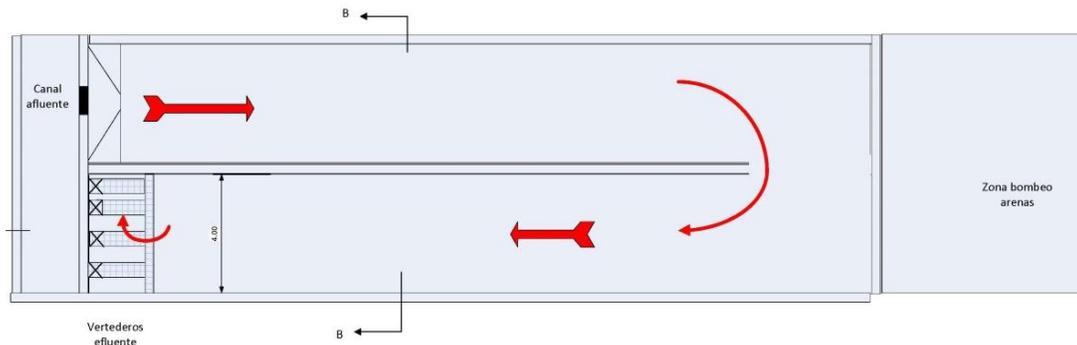
Figura 3-1 Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de la PTAR Canoas para la Fase I



3.1.1.1.2 Desarenación

La tecnología de desarenación recomendada para la PTAR Canoas consiste en desarenadores aireados. Se definió esta opción considerando las altas eficiencias de remoción de arenas finas que tiene esta tecnología, y además, por ser un proceso probado con éxito a nivel mundial en plantas de gran tamaño. Cada uno de los canales de desarenado tendrá una configuración en “U”, lo que permite reducir la longitud de los tornillos recolectores de arena a menos de 30 m, dimensión máxima comercial en el mercado. Respecto al ancho del canal, éste es de aproximadamente 4,0 m. Ésta configuración resulta más económica que duplicar el número de unidades para reducir la longitud a la mitad; además, el sistema será más fácil de operar. En la Figura 3-2 se muestra un esquema de la configuración del desarenador aireado.

Figura 3-2. Esquema de configuración del desarenador aireado



Fuente: CDM Smith – INGESAM, 2014

El proceso de desarenación aireada no tendrá unidades en redundancia. Las unidades de desarenación aireada se dimensionaron con base en el caudal pico de tiempo húmedo ($32 \text{ m}^3/\text{s}$) y el sistema tiene suficiente capacidad para tener una unidad fuera de servicio y mantener condiciones de operación adecuadas. Las dimensiones y el número de unidades de desarenación se muestran en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3 Características de las unidades de desarenación aireada

Dimensionamiento	
Características de unidad y dimensiones	
Número de unidades - requeridas	14
Largo unidades (m)	55
Profundidad (m)	5,0
Número de canales por unidad	2
Largo canal (m)	27,5
Ancho de canal (m)	4,0

3.1.1.2 Tratamiento primario

La tecnología recomendada para la Fase I de la PTAR Canoas es un tratamiento primario químicamente asistido (TPQA), debido a su confiabilidad para alcanzar los niveles de remoción de SST y DBO_5 requeridos en las CTDI. El sistema está compuesto por unidades de mezcla rápida mecánica donde tiene lugar el proceso de coagulación, seguidas de los tanques de sedimentación primaria circular. El proceso de floculación o mezcla lenta tendrá lugar en la entrada de los sedimentadores,

ya que por cuestiones de distancia y recorrido, los flóculos producidos en una unidad independiente tendrían alta probabilidad de romperse, lo que afectaría negativamente el proceso.

3.1.1.2.1 Mezcla rápida

Para llevar a cabo el proceso de coagulación se prevé unidades independientes de mezcla rápida con agitadores mecánicos de hélice y dosificación de cloruro férrico como coagulante. Para el diseño conceptual se adoptó una dosificación de cloruro férrico igual a 30 mg/L, con base en información disponible de la operación de otras plantas de tratamiento similares a la PTAR Canoas (PTAR Salitre en Bogotá, PTAR Cañaveralejo en Cali y PTAR Blue Plains en Washington DC, USA). Las características de las unidades de mezcla rápida se presentan en la Tabla 3-4.

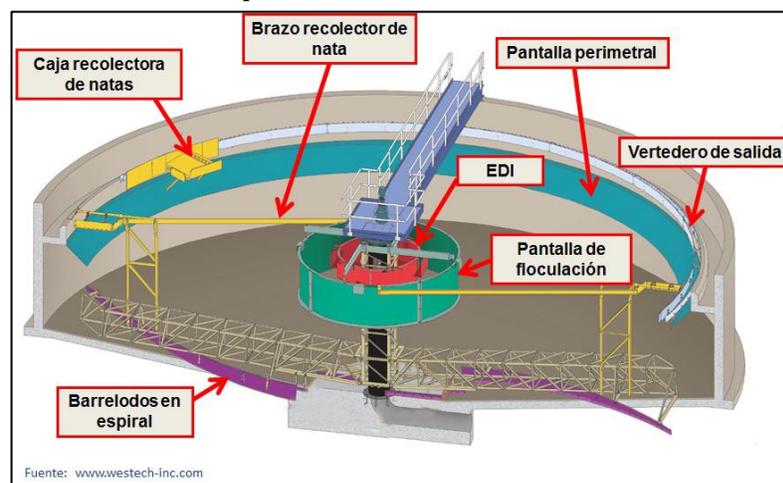
Tabla 3-4 Características de las unidades de mezcla rápida mecánica

Dimensionamiento	
Características de la unidad y dimensiones	
Número de unidades	4
Largo (m)	9,0
Ancho (m)	8,0
Profundidad (m)	5,0

3.1.1.2.2 Sedimentación primaria

Para llevar a cabo el proceso de floculación de manera adecuada, se prevé un punto de dosificación de polímero en la caja de distribución de caudal que lleva el agua a los sedimentadores. Para el diseño conceptual se adoptó una dosificación de polímero aniónico de 0,3 mg/L. Al igual que para el cloruro férrico, esta dosificación se definió con base en la experiencia en otras plantas de tratamiento similares a la PTAR Canoas. El proceso de sedimentación se llevará a cabo en tanques circulares, los cuales tienen los siguientes equipos: estructura de disipación de energía (EDI), pantalla de floculación, pantalla perimetral, barrelos en espiral, brazos recolectores de nata y vertedero de salida. En la Figura 3-3 se aprecia una vista esquemática de un tanque sedimentador circular y sus principales componentes. En la Tabla 3-5 se presentan las principales características de los tanques sedimentadores primarios dimensionados para la PTAR Canoas.

Figura 3-3 Esquema de un sedimentador primario convencional



Fuente: www.westech-inc.com

Tabla 3-5 Características de los tanques de sedimentación primaria

Dimensionamiento	
Dimensiones	
Número de unidades	16
Diámetro por unidad (m)	50,0
Profundidad (m)	4,9

Para el proceso de sedimentación primaria no se prevé unidades en redundancia; sin embargo, se verificó que el funcionamiento hidráulico cumpliera con los criterios de diseño recomendados en el MOP 8 y Metcalf & Eddy operando con 15 unidades, es decir, (n-1).

3.1.2 Línea de lodos

3.1.2.1 Desarenación de lodo crudo

La tecnología de desarenación de lodos crudos seleccionada para la PTAR Canoas consiste en hidrociclones con clasificadores de arena, los cuales se instalan en la línea de lodos provenientes del proceso de sedimentación primaria. Los hidrociclones se proponen como medida para evitar el paso y acumulación de arenas a las unidades de digestión y como redundancia de los desarenadores aireados previstos en la línea de agua, en la cabecera de la planta. Las dimensiones y el número de unidades para la operación de desarenación del lodo crudo, se presentan en la Tabla 3-6.

Tabla 3-6 Características de los hidrociclones para desarenación del lodo crudo

Dimensionamiento	
Características de unidad y dimensiones	
Número de hidrociclones	16
Número de clasificadores	8

Para la operación de desarenación de lodos crudos con hidrociclones no se consideró ninguna redundancia, debido a que, de por sí, éste es un proceso redundante de la desarenación del agua residual. Cada hidrociclón está conectado a un sedimentador primario específico y el sistema de sedimentación primaria está diseñado para funcionar de manera adecuada, trabajando con n-1 unidades.

3.1.2.2 Espesamiento de lodo primario

El espesamiento del lodo primario se llevará a cabo en espesadores circulares por gravedad. Las características, dimensiones y número de unidades del proceso de espesamiento de lodo primario, se presentan en la Tabla 3-7.

Tabla 3-7 Características de espesadores de lodo primario a gravedad

Dimensionamiento	
Características de unidad y dimensiones	
Diámetro de cada espesador (m)	25
Profundidad (m)	4,3
Número de unidades (un)	6

3.1.2.3 Cribado de lodos

El proceso de hidrólisis térmica tiene como prerrequisito un sistema de cribado de lodos, cuyo fin es el de evitar la entrada de residuos plásticos, viruta de madera, textiles y proteger el proceso. Con base en la experiencia en otros sistemas de tratamiento, CDM Smith – INGESAM determinó que la tecnología más adecuada para esta operación de cribado de lodos es un tamiz rotatorio a presión. Éste funciona con un tornillo que moviliza los lodos, y a su alrededor tiene una malla tamizadora con diferentes espacios entre barras, por donde fluye el lodo a medida que pasa por el tornillo. Las dimensiones y el número de unidades para esta operación se presentan en la Tabla 3-8.

Tabla 3-8 Características de las unidades para cribado de lodos

Dimensionamiento	
Capacidad por unidad (m ³ /d)	1.445
Diámetro del orificio - zona de presión (mm)	6
Diámetro del orificio - zona de cribado (mm)	6
Número de unidades totales	6

3.1.2.4 Pre-deshidratación

Otra operación requerida como paso previo al proceso de hidrólisis térmica, es la pre-deshidratación del lodo crudo, con la cual se busca alcanzar concentraciones de lodo entre el 15% y 18%. Para esto, se definieron unidades centrífugas con asistencia de polímero catiónico. De manera preliminar, se estimó una dosificación de polímero de 4,5 kg por tonelada de lodo seco. En la Tabla 3-9 se presentan las características de las unidades centrífugas previstas para esta operación.

Tabla 3-9 Características de unidades centrífugas para pre-deshidratación del lodo

Dimensionamiento	
Capacidad por unidad (kg/h)	1.814
Número de unidades en operación	8
Número de unidades totales	10

3.1.2.5 Hidrólisis térmica

El proceso de hidrólisis térmica (THP, por sus siglas en inglés) es un proceso de pre-tratamiento del lodo, previo a la digestión anaeróbica mesofílica, en el cual se hidroliza el lodo con vapor de alta presión y elevadas temperaturas, para su posterior digestión. El proceso de hidrólisis térmica desintegra las partículas de lodo creando una mezcla homogénea, menos viscosa y fácilmente digerible en el proceso de digestión anaeróbica. La carga orgánica en los digestores puede ser el doble y el tiempo de retención menor para un lodo hidrolizado que para un lodo sin hidrolizar. En términos generales, la hidrólisis térmica consiste de tres procesos unitarios (despulpador, reactor y depósito de expansión). Cada tren de tratamiento consta de un despulpador, cuatro reactores y un tanque de expansión. En la Tabla 3-10 se presentan las características del proceso de hidrólisis térmica para la primera fase de la planta.

Tabla 3-10 Características del THP para la Fase I

Dimensionamiento	
Capacidad por reactor (m ³ /d)	155
Número de trenes	3
Número de reactores, cuatro por tren	12
Número de despulpadores	3
Número de tanques de expansión	3

El proceso de hidrólisis térmica no cuenta con unidades de redundancia, debido a los altos costos de inversión adicionales que esto implicaría. El dimensionamiento se realizó con base en el flujo máximo de lodos a 14 días. En condiciones promedio, el sistema puede trabajar de manera adecuada con n-2 unidades. Adicionalmente, como redundancia del sistema se prevé que cada línea tenga un tanque independiente de alimentación, calderas múltiples con capacidad de operar con biogás o gas natural para asegurar el suministro de vapor, y bombas redundantes para alimentación de los procesos de hidrólisis térmica y digestión anaeróbica mesofílica. Cada reactor y cada línea se pueden aislar y sacar de servicio cuando sea necesario, sin afectar la operación del resto del proceso.

Debido a los altos costos de inversión que requiere la implementación del proceso de Hidrólisis Térmica, en el Producto 3 se evaluó la posibilidad que incluir este proceso en la Fase II e implementar un proceso de digestión anaeróbica convencional para la Fase I. Con base en el análisis presentando este producto, se concluyó que implementar el proceso de digestión convencional en la Fase I y unos de hidrólisis térmica en la Fase II no es conveniente teniendo en cuenta que implicaría costos adicionales por cambio de sistemas ya instalado (p.ej. intercambiadores de calor) y habría que abandonar infraestructura ya instalada (p.ej. unidades de digestión). Adicionalmente, no contaría con los beneficios que el proceso de THP tiene como la producción de lodo clase A.

3.1.2.6 Digestión anaeróbica mesofílica

El proceso de digestión anaeróbica mesofílica se llevará a cabo en digestores cilíndricos, de acuerdo con los resultados del análisis técnico y económico realizado por esta consultoría. Este tipo de tanque digestor, en comparación con los de forma oval, presenta ventajas en los costos de inversión, facilidad de operación y mantenimiento, vida de servicio de los materiales y la no dependencia de proveedores especializados. En la Tabla 3-11 se presentan las características de los tanques digestores previstos para la Fase I de la PTAR Canoas.

Tabla 3-11 Características de la digestión anaeróbica mesofílica para la Fase I

Dimensionamiento	
Altura de cada digestor (m)	22,0
Diámetro de cada digestor (m)	27,0
Número de digestores totales	4
Número de unidades almacenamiento de lodo y de gas	2

Para el proceso de digestión no se previó redundancia. En condiciones promedio de operación, el sistema puede trabajar de manera adecuada con n-1 unidades. Adicionalmente, se ha previsto la construcción de dos tanques de almacenamiento de lodo digerido y de biogás para todas las fases de la planta.

3.1.2.7 Deshidratación de lodo estabilizado

La deshidratación del lodo estabilizado se realizará en filtros prensa de banda. A la entrada de cada filtro prensa se prevé la aplicación de polímero para asistir en el proceso de deshidratación. Las características de las unidades de deshidratación se muestran en la Tabla 3-12.

Tabla 3-12 Características de las unidades de deshidratación de lodos

Dimensionamiento	
Capacidad por banda de 2m ancho (kg/h)	907
Número de unidades en operación	10
Número de unidades totales	12

El proceso de deshidratación se previó con una redundancia de $n+2$. Las unidades se dimensionaron con los tamaños comerciales más grandes disponibles, con el fin de reducir requerimientos operativos, de mantenimiento y repuestos.

3.2 Fase II

La Fase II de la PTAR Canoas comprende la extensión de la planta a un tratamiento biológico convencional, además de la desinfección del efluente antes de su descarga al río Bogotá. Como se señaló anteriormente, el tratamiento biológico corresponde a un proceso de lodos activados en la modalidad de alimentación escalonada o por etapas, mientras la desinfección se realizará con hipoclorito de sodio, en un tanque e contacto de cloro. En la Figura 3-5 se muestra un diagrama de flujo con las operaciones y procesos unitarios de la planta para las Fases II y III.

Al avanzar a esta segunda fase del tratamiento, muy probablemente se suspenderá la adición de químicos en el tratamiento primario, y éste continuará operando de manera convencional, en los mismos tanques sedimentadores dimensionados para la Fase I. Por esta razón, los sedimentadores primarios fueron diseñados para la condición de operación sin adición de químicos.

3.2.1 Línea de agua

Las unidades de proceso de la línea de agua que hacen parte de esta fase del tratamiento en la PTAR Canoas, incluyen los tanques de aireación, tanques de sedimentación secundaria y tanques de contacto de cloro.

3.2.1.1 Tratamiento secundario

3.2.1.1.1 Tanques de aireación

Cada tanque de aireación tiene siete canales, de los cuales el primero es un selector anaerobio cuyo objetivo principal es reducir el crecimiento de bacterias filamentosas para mejorar la sedimentabilidad del lodo; los seis canales siguientes son aeróbicos. En la Figura 3-5 se aprecia un esquema del tanque de aireación con sus siete canales y las entradas del flujo de agua residual. En la Tabla 3-13 se presentan las características de los tanques de aireación para esta fase del tratamiento.

El proceso de lodos activados no cuenta con unidades de redundancia; sin embargo, las unidades se dimensionaron para que operen en condiciones adecuadas cuando se tenga una unidad fuera de servicio.

Figura 3-4 Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de la PTAR Canoas para las Fases II y III

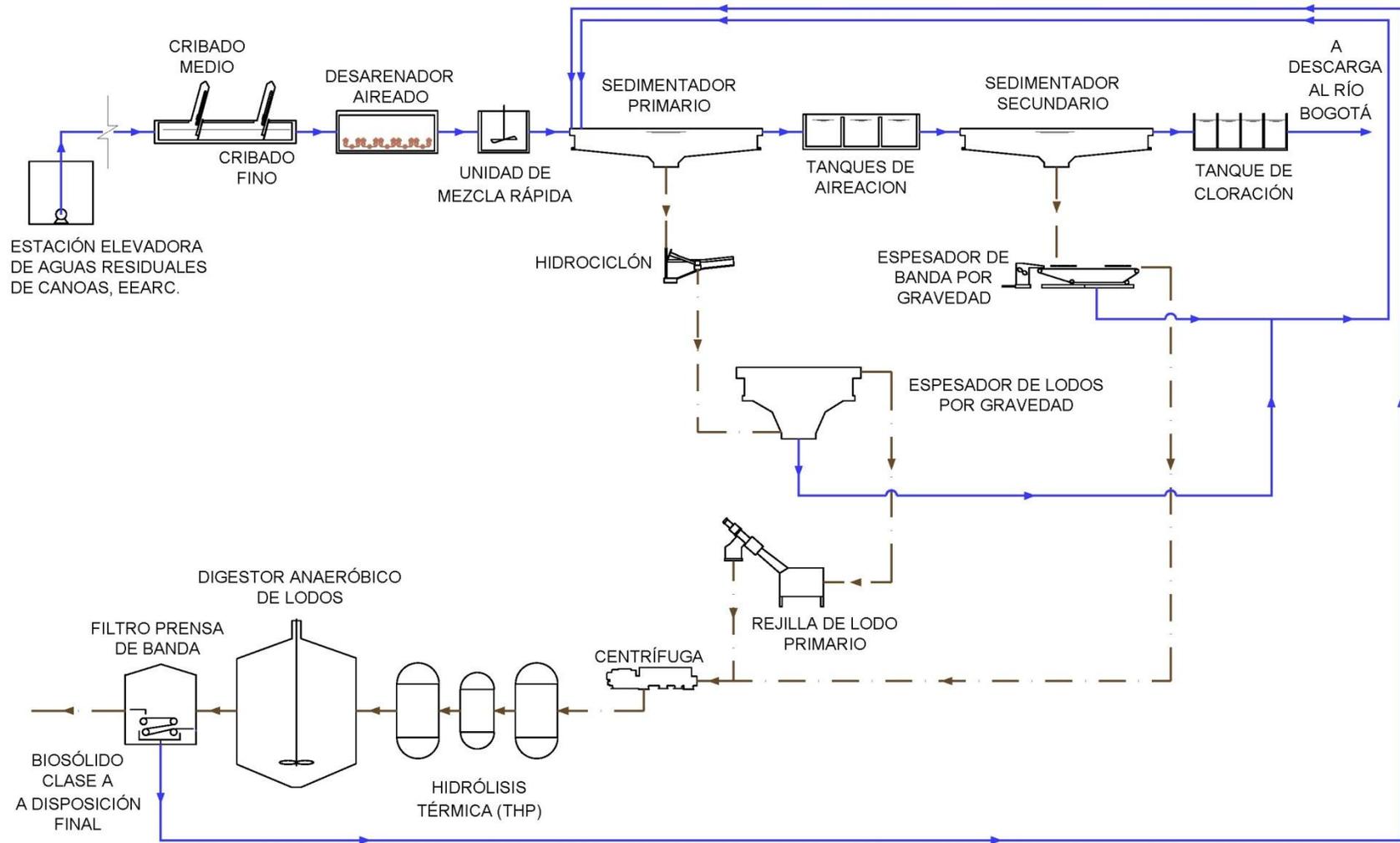


Figura 3-5 Esquema de un tanque de aireación para la Fase II del tratamiento

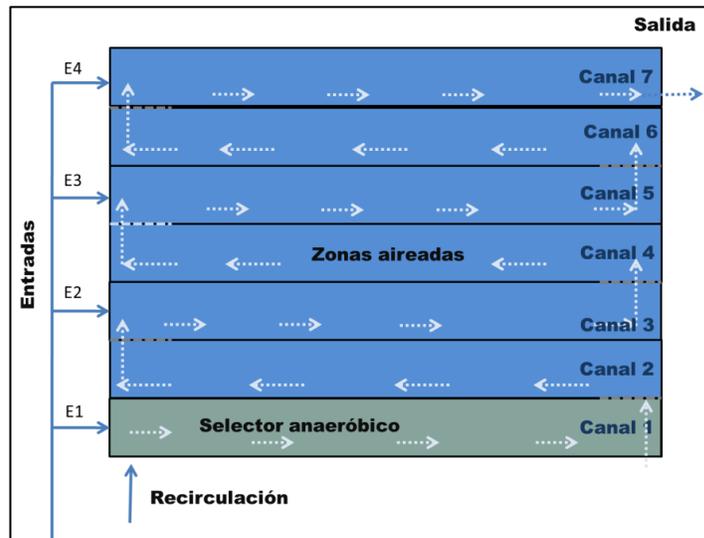


Tabla 3-13 Características de los tanques de aireación para la Fase II del tratamiento

Dimensionamiento	
Tanques de aireación	
Número de unidades totales	8
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
Modo de operación de canales	
Canal 1	Selector anaeróbico
Canal 2-7	Aeróbico

3.2.1.1.2 Sedimentación secundaria

La sedimentación secundaria se realizará en tanques circulares a gravedad, con equipos barrelos mecánicos. Los sedimentadores secundarios tienen los mismos componentes que los sedimentadores primarios, con la adición de un anillo para asistir la evacuación del lodo secundario y evitar su resuspensión. Las dimensiones y el número de unidades para sedimentación secundaria se presentan en la Tabla 3-14.

Tabla 3-14 Características de los sedimentadores secundarios

Dimensionamiento	
Características de sedimentadores secundarios	
Número de unidades	16
Diámetro por unidad (m)	61,0
Profundidad (m)	5,2

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

3.2.1.2 Desinfección

El proceso de desinfección recomendado para la PTAR Canoas es de cloración en un tanque de contacto, con la adición de hipoclorito de sodio. El proceso está conformado por cuatro trenes de tratamiento, cada uno con cinco canales. Para realizar el diseño conceptual se definió una concentración de 8,0 mg/L, dosis obtenida con base en la información de operación de otras plantas de tratamiento de características similares. En la Figura 3-6 se muestra un esquema del tanque de contacto y en la Tabla 3-15 se presentan las dimensiones y el número de unidades que conforman el proceso de desinfección.

Figura 3-6 Esquema del tanque de cloración

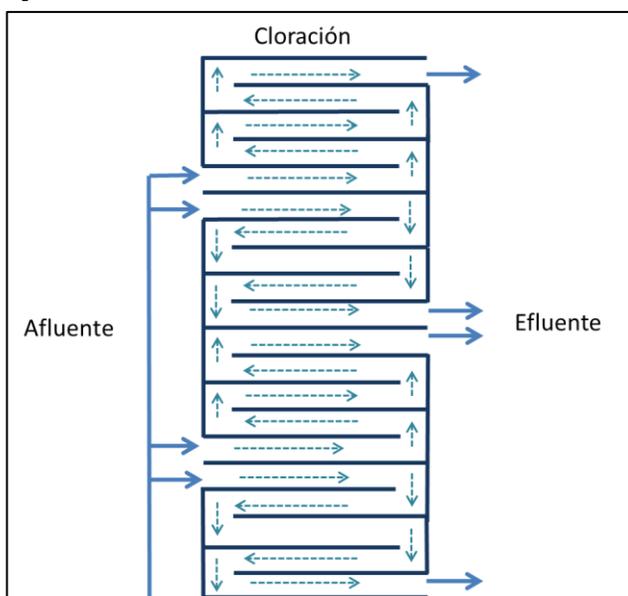


Tabla 3-15 Características del tanque de cloración

Dimensionamiento	
Características y dimensionamiento	
Número de trenes	4
Largo tren (m)	320
Número de canales por tren	5
Largo canal (m)	64
Ancho (m)	7,5
Profundidad (m)	3

El proceso de desinfección no cuenta con trenes de redundancia. Esta unidad se dimensionó para un tiempo de retención de 15 minutos en condiciones de caudal máximo de tiempo húmedo ($32 \text{ m}^3/\text{s}$), y de 30 minutos para condiciones de caudal promedio ($16 \text{ m}^3/\text{s}$). Con una unidad fuera de servicio, se dispone del 75% de la capacidad total para llevar a cabo el proceso de desinfección.

3.2.2 Línea de lodos

3.2.2.1 Espesamiento secundario

Para el espesamiento del lodo secundario se seleccionó la tecnología de espesadores de banda por gravedad. Las dimensiones y el número de unidades para el sistema de espesamiento secundario se presentan en la Tabla 3-16.

Tabla 3-16 Características de las unidades de espesamiento de lodo secundario

Dimensionamiento	
Capacidad por banda de 3,0 m de ancho (kg/h)	1.160
Número de unidades en operación	9
Número de unidades totales	10

Para esta operación de espesamiento secundario se dispuso una redundancia de $n+1$. Las unidades se dimensionaron con los tamaños comerciales más grandes disponibles, con el fin de reducir requerimientos operativos, de mantenimiento y repuestos.

3.2.2.2 Unidades adicionales de la línea de lodos para la Fase II

Dada la configuración del sistema de tratamiento seleccionado para la PTAR Canoas, los procesos unitarios para el manejo de lodos se mantienen a lo largo de las tres fases del proyecto, con excepción del espesamiento secundario, que debe entrar en la Fase II, conjuntamente con el tratamiento biológico. Sin embargo, el número de unidades de proceso si se incrementa, en la misma medida que crece la producción de lodo.

A continuación, se enlistan los procesos y el número de unidades adicionales que se requieren para manejar el incremento de lodos a tratar en la Fase II:

- Pre-deshidratación: Para la Fase II, se requieren cuatro (4) unidades centrífugas adicionales para un total de 14. Dos (2) unidades estarán de respaldo.
- Hidrolisis térmica: Para la Fase II, se requieren ocho (8) reactores adicionales para un total de 20 reactores. Cada tren tiene capacidad de cuatro (4) reactores para un total de cinco (5) trenes de hidrólisis térmica.
- Digestión anaeróbica mesofílica: Para la Fase II, se requieren dos (2) digestores adicionales para un total de seis (6) digestores y dos (2) tanques de almacenamiento de lodos.
- Deshidratación: En Fase II, la cantidad de filtros prensa de banda requeridos aumentará a 16 por lo que se adicionarán cuatro (4) de los cuales dos (2) seguirán de respaldo.

3.3 Fase III

La Fase III consiste en la extensión de la planta a un tratamiento con remoción de nutrientes (nitrógeno y fósforo). En esta fase, el proceso de lodos activados se ampliará para llevar a cabo los procesos de remoción de nutrientes.

3.3.1 Línea de agua

En la línea de agua, la única adición con respecto a la Fase II, se refiere a la modificación del proceso de lodos activados por alimentación escalonada, con zonas anóxicas.

En los tanques de aireación se prevé tener zonas aerobias y anóxicas para llevar a cabo los procesos de nitrificación y desnitrificación. La principal ventaja del proceso de lodos activados seleccionado para remover nitrógeno y fósforo, es que no requiere la adición de carbono externo (p.ej. metanol), reduciendo así los costos de operación.

En cuanto a la remoción de fósforo, se requiere adicionar un proceso de precipitación química para complementar las remociones que se alcanzan en el proceso biológico y alcanzar así, la concentración requerida en el efluente final de la planta. La remoción biológica de fósforo realizada por los organismos acumuladores de fósforo (OAF) se complementa con precipitación química por medio de cloruro férrico. Para llevar a cabo el proceso de remoción de fósforo por precipitación química de manera adecuada, se prevé de manera preliminar tener varios puntos de dosificación de FeCl₃ entre los cuales están los siguientes: rejas de cribado fino, tanques de mezcla rápida, al final de los tanques de aireación y en la línea de retorno de los digestores anaeróbicos.

Para esta fase del tratamiento, la estructura de los tanques de aireación se mantiene igual que para el tratamiento secundario; sin embargo, el número de unidades se incrementa a 24 y el modo de operación se modifica, de acuerdo a lo mostrado en la Figura 3-7. Las dimensiones y el número de unidades de aireación para la Fase III, se muestran en la Tabla 3-17.

Figura 3-7 Esquema del tanque de aireación para la Fase III

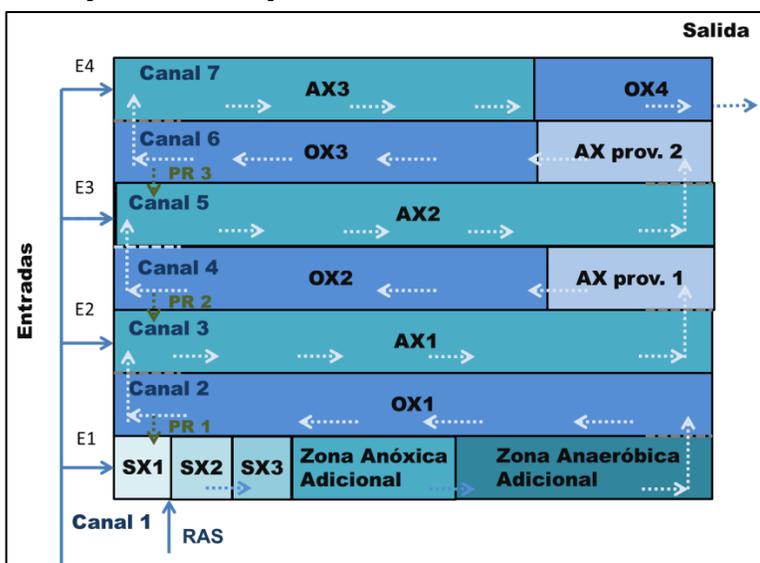


Tabla 3-17 Características de los tanques de aireación para la Fase III

Dimensionamiento	
Tanques de aireación	
Número de unidades - Diseño	23
Número de unidades - Total	24
Largo por unidad (m)	89,0
Ancho por unidad (m)	76,0

Dimensionamiento	
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

3.3.2 Línea de lodos

En la Fase III no se espera un aumento significativo en la producción de lodos, y el número de unidades previstas para la Fase II tiene capacidad suficiente para manejar los lodos producidos en la Fase III.

3.4 Control de olores

Para el control de olores ofensivos que se generan en diferentes puntos de la planta, se recomendó el uso de biofiltros. Con base en los procesos de tratamiento recomendados, se establecieron cinco (5) sistemas de control de olores:

1. Sistema de cribado y canales de conducción
2. Desarenadores aireados
3. Unidad de mezcla rápida y canales de conducción
4. Sedimentadores primarios
5. Unidades de la línea de lodos, incluyendo los espesadores a gravedad y las unidades de deshidratación

Cada sistema de control de olores está compuesto por cubiertas en las unidades generadoras, un sistema de extracción y transporte de aire, y un sistema de tratamiento por medio de biofiltros. Todos los sistemas, con excepción de la unidad de desarenación aireada, se dimensionaron teniendo en cuenta 12 cambios de aire por hora. En la Tabla 3-18 se presentan las características de las unidades dimensionadas para cada uno de los cuatro sistemas de la línea de agua, y en la Tabla 3-19 las características de las unidades para la línea de lodos.

Tabla 3-18 Características de los biofiltros para control de olores - línea de agua

Dimensionamiento				
	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Número de unidades	2	2	2	8
Ancho de la unidad (m)	12	17	8,5	19
Largo de la unidad (m)	12	17	8,5	19
Profundidad lecho filtrante (m)	0,9	0,9	0,9	0,9
Altura de la cámara de aire (m)	0,5	0,5	0,5	0,5

Tabla 3-19 Características de los biofiltros para control de olores - línea de lodos

Dimensionamiento		
	Espesador por gravedad	Centrífuga
Número de unidades requeridas	2	2
Ancho de la unidad (m)	19,5	9
Largo de la unidad (m)	19	9
Profundidad lecho filtrante (m)	0,9	0,9
Altura de la cámara de aire (m)	0,5	0,5

3.5 Sistema de cogeneración

Como se señaló anteriormente, el sistema de cogeneración comprende el uso de motogeneradores y calderas pirotubulares. Las características del sistema de cogeneración eléctrica se presentan en la Tabla 3-20.

Tabla 3-20 Producción de energía. Cogeneración para las Fases I y II

	Unidad	Fase I	Fase II
Producción media de biogás con THP	m ³ /d	85.000	156.000
Biogás utilizado en calderas para producción de vapor para la THP	m ³ /d	34.000	51.000
Biogás disponible para generación de energía eléctrica	m ³ /d	51.000	105.000
Energía eléctrica generada (potencial) a partir del biogás de entrada	kW	5.500	11.400
Consumo nominal de biogás por motor	m ³ /d	27.400	27.400
Capacidad de generación eléctrica por motor (nominal)	kW	3.020	3.020
Número de motores	Un	3 (2 en servicio; 1 de respaldo)	5 (4 en servicio; 1 de respaldo)

Sección 4

Análisis de alternativas de layout y recomendación

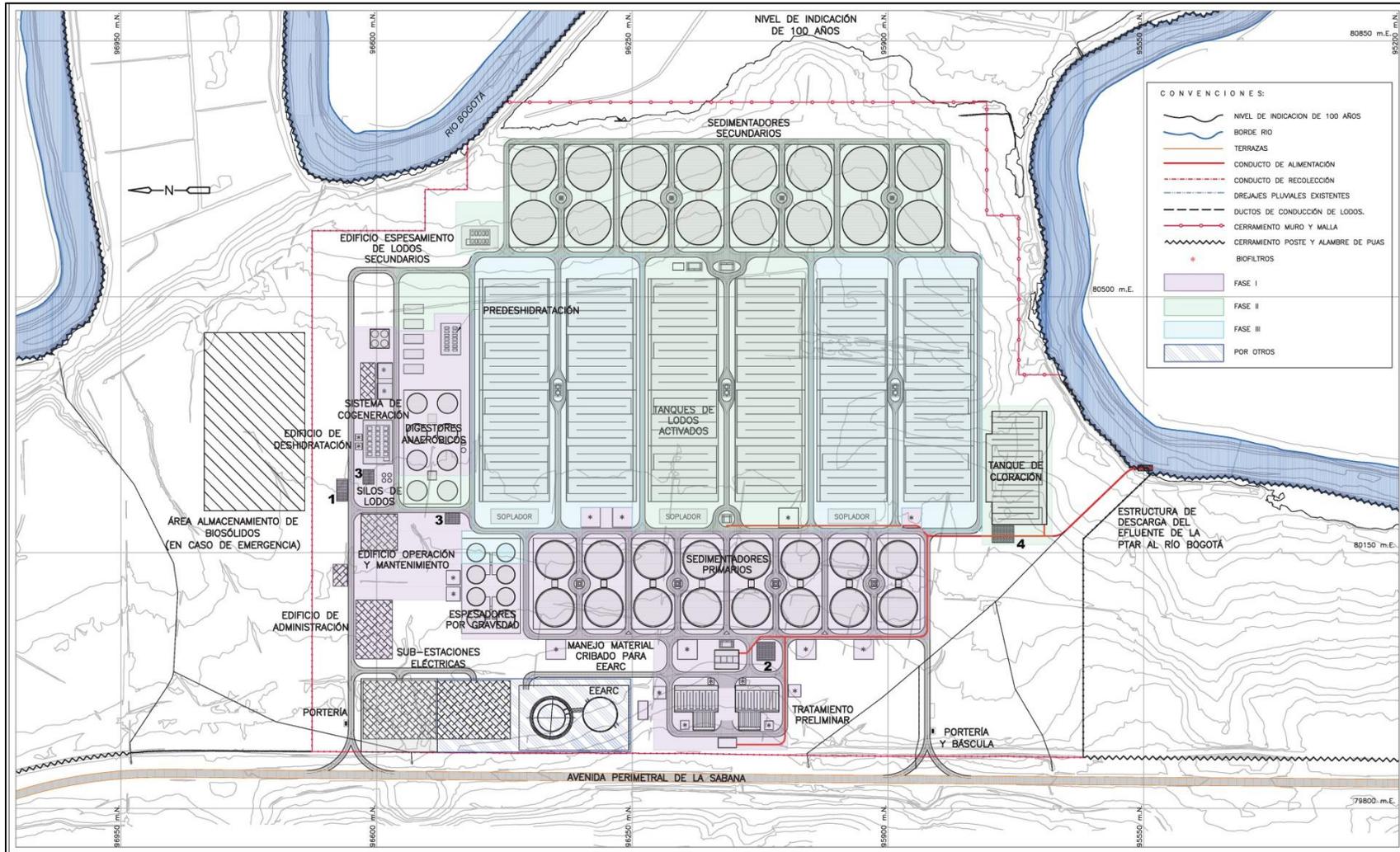
A partir de la definición del sistema de tratamiento para la PTAR Canoas, se desarrollaron dos alternativas de layout en el sitio previsto para la construcción de la planta de tratamiento. En la definición de alternativas de layout, se tuvieron en cuenta las características físicas del sitio de la PTAR (localización, topografía, geotecnia, geografía, hidrología e infraestructura), la posible posición de la estación elevadora de aguas residuales Canoas (EEARC), y la secuencia de los procesos seleccionados para el tratamiento de las aguas residuales. Otras consideraciones, como por ejemplo la funcionalidad de la distribución, accesibilidad, movilidad, flexibilidad en caso de requerirse espacios para operación y mantenimiento, y aspectos ambientales como la generación de olores y sus posibles impactos ambientales.

4.1 Descripción de las alternativas

En la Figura 4-1 se presenta un plano con la Alternativa 1 de layout, cuyas principales características son las siguientes:

- La EEARC no hace parte del contrato actual de CDM Smith - INGESAM; sin embargo, para esta alternativa, se propone su localización en el costado centro-occidental del terreno, sobre el interceptor Tunjuelo – Canoas (ITC).
- El desarrollo de la PTAR, en sus diferentes fases, se da en sentido transversal del predio, en dirección oeste - este y con una pendiente media del terreno, moderada.
- Las estructuras y equipos de la Fase I se encuentran concentrados en la parte occidental de la planta; la EEARC y el pretratamiento en la zona más alta del terreno, lo que implica mayor costo de excavación o, en su defecto, mayor costo de energía de bombeo.
- Simetría entre los sedimentadores primarios, tanques de aireación y sedimentadores secundarios, lo que permite una buena distribución del agua residual.
- La zona de manejo de lodos, espesadores, tanque de almacenamiento, digestores y edificio de deshidratación, entre otros, se encuentra al norte del predio, equidistante de los sedimentadores primarios y secundarios y alejada de la Avenida Perimetral de la Sabana y de la cabecera municipal de Soacha.
- Se dispone de espacio suficiente para control de olores en las áreas de tratamiento preliminar, primario y en la zona de manejo de lodos.

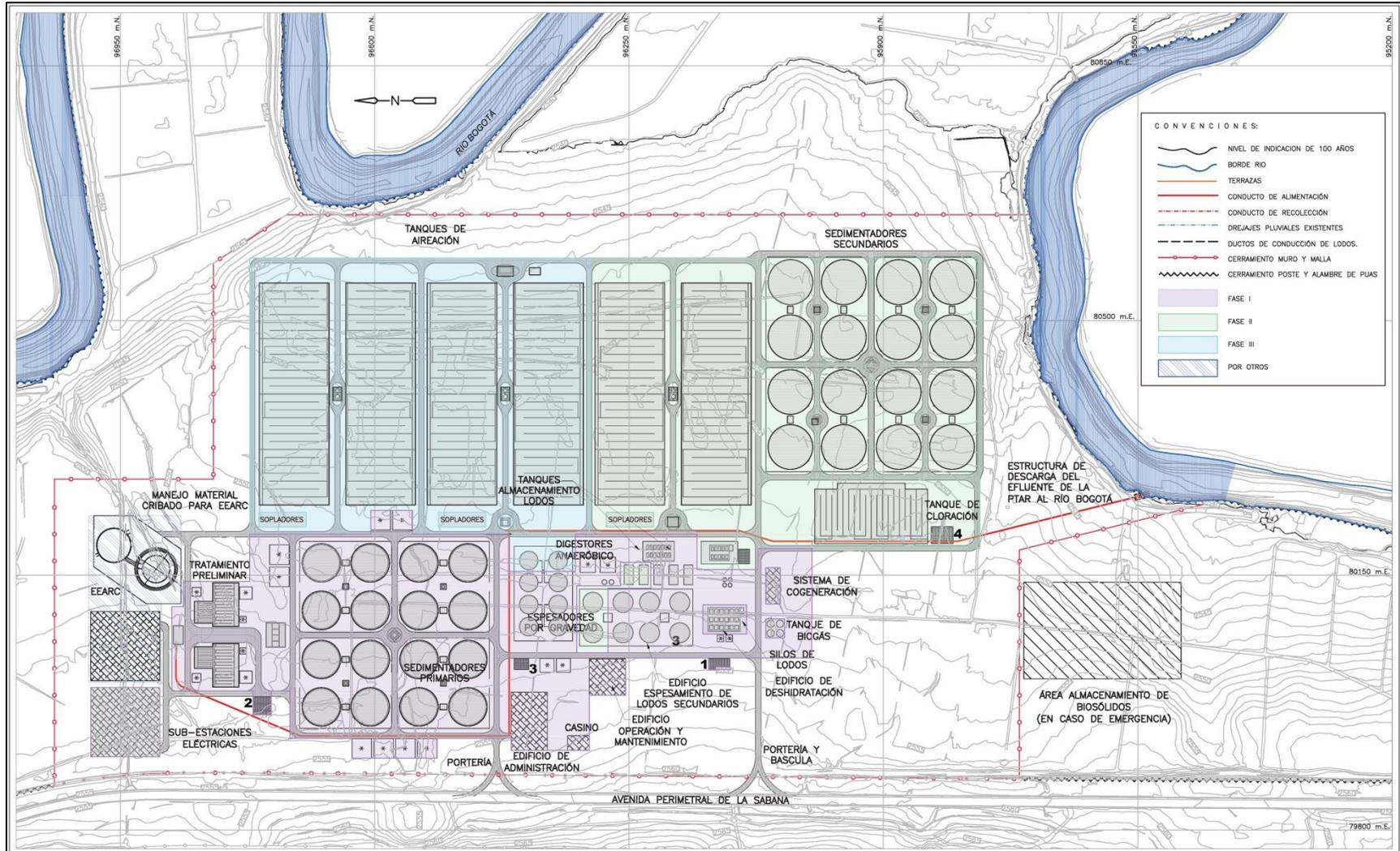
Figura 4-1 Alternativa 1 de layout en el terreno de Canoas



En la Figura 4-2 se muestra un plano con la Alternativa 2 de layout, cuyas principales características son las siguientes:

- Como en la primera alternativa, aunque la EEARC no hace parte del diseño que adelanta esta consultoría, para esta alternativa se propone su localización en el costado norte del terreno, también sobre el interceptor Tunjuelo – Canoas (ITC).
- El desarrollo de la PTAR se prevé en el sentido norte a sur del lote.
- La EEARC y estructuras de pretratamiento se encuentran en el norte del predio, en niveles de terreno bajos (volúmenes de excavación bajos). El flujo EEARC–tratamiento preliminar–mezcla rápida–sedimentación primaria, se orienta de norte a sur. Por consiguiente, el agua residual fluye en dirección oeste - este por los tanques de aireación, y en dirección este - oeste en los sedimentadores secundarios y tanque de cloración.
- Los sedimentadores primarios y secundarios se distribuyen en cuatro (4) cuadrados de cuatro (4) tanques cada uno, promoviendo un funcionamiento hidráulico homogéneo y una distribución equitativa de agua a cada sedimentador.
- La Fase I se encuentra al costado occidental del lote, en la base de una colina de 7,0 m de altura. Esto reduce costos constructivos en las primeras etapas y deja espacios considerables para control de olores o expansión del tratamiento de lodos, en caso de requerirse.
- La zona de manejo de lodos, espesadores, tanque de almacenamiento, digestores y edificio de deshidratación, se ubica al occidente del predio, cerca de sedimentadores primarios y de la Avenida Perimetral de la Sabana.

Figura 4-2 Alternativa 2 de layout en el terreno de Canoas



4.2 Evaluación técnico-económica de alternativas de layout

Se llevó a cabo una evaluación técnico-económica de las alternativas de layout con el fin de identificar y recomendar cuál de las propuestas resulta una mejor opción para la PTAR Canoas. La evaluación se realizó por medio de un análisis de decisión de criterio múltiple (ADCM), en el cual se evaluaron criterios técnicos, económicos, ambientales y sociales de cada alternativa.

Los criterios se definieron con base en los objetivos generales del proyecto. La aplicabilidad de estos criterios se analizó teniendo en cuenta las condiciones técnicas y económicas específicas del proyecto. En la Tabla 4-1 se relacionan los criterios identificados inicialmente para el análisis; después de una evaluación preliminar, algunos de dichos criterios (señalados con letra de color rojo) se descartaron teniendo en cuenta que no se encontraron diferencias significativas entre las dos alternativas evaluadas.

Tabla 4-1 Criterios de evaluación para ADCM

Objetivo	Criterios ADCM
Disminuir costos de operación y mantenimiento PTAR	Costos de operación y mantenimiento
Disminuir costos de operación y mantenimiento EEAR	Valor presente neto (VPN) de bombeo de agua residual
Costos de inversión los más bajos posibles	Costos de inversión no comunes
Adaptabilidad a requerimientos futuros	Área disponible para futura expansión en caso de requerimientos más exigentes
Facilidad de construcción PTAR	Facilidad de construcción en las diferentes fases de la PTAR
Facilidad de construcción EEARC	Condición del subsuelo en lugar de la estación
Facilidad de construcción EEARC	Facilidad de construcción de manera simultánea con PTAR
Requerimientos de espacio los más bajos posibles	Requerimientos de espacio
Mitigación de aspectos ambientales y sociales	Distancia de unidades de generación de olores a zona poblada

Se calculó y cuantificó cada uno de los criterios finalmente adoptados para el ADCM. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2 Resultados criterios de evaluación ADCM

	Alternativa 1	Alternativa 2
VPN de bombeo de agua residual (Millones de COP)	\$ 174.000	\$ 170.000
Costos de inversión no comunes (Millones de COP)	\$ 242.400	\$ 251.300
Área disponible para futura expansión en caso de requerimientos más exigentes (m ²)	43.400	128.000
Construcción de fases del tratamiento	Disponibilidad de área limitada al igual que vía de acceso	Disponibilidad de área suficiente y hay facilidad para la vía de acceso

De acuerdo a los resultados del ADCM, se encontró que la Alternativa 2 tiene ventajas sobre la Alternativa 1 en aspectos como el VPN del bombeo de aguas residuales, la disponibilidad de área para expansión futura, y la facilidad de construcción en las diferentes fases de la PTAR. Por estas razones, CDM Smith – INGESAM recomienda la Alternativa 2 de layout para ser implementada en la PTAR Canoas.

Sección 5

Costos de la alternativa seleccionada

En esta sección se presenta un resumen de los costos de inversión, operación y mantenimiento para la alternativa seleccionada de tratamiento y layout. Los costos corresponden a precios de diciembre de 2013, y su detalle puede encontrarse en los informes de los Productos 4 y 5.

5.1 Costos de inversión

En la Tabla 5-1 se presenta el resumen general de los costos de inversión por fase de tratamiento, para la alternativa seleccionada. Los costos de inversión se dividen en los siguientes grupos:

- **Obras civiles:** Compuesto por 1) obras de adecuación del sitio donde se incluyen obras preliminares, conducciones, cerramiento, vías de acceso, drenajes y aguas lluvia, y empradización; 2) obras del sistema de tratamiento donde se incluyen las obras civiles relacionadas con los procesos unitarios del sistema; y 3) edificios, que incluyen el edificio de administración, laboratorio, edificio de mantenimiento, porterías y edificio de la sub-estación eléctrica principal de la PTAR.
- **Instalaciones eléctricas:** compuesto por los costos de suministro, montaje, prueba y puesta en servicio de la línea de alta tensión, sistema de distribución de media y baja tensión, y subestaciones unitarias, y los equipos de cogeneración.
- **Equipos:** compuesto por los equipos electromecánicos de los procesos unitarios que hacen parte del sistema de tratamiento. Se incluyen los costos de compuertas, bombas agitadores y equipos de laboratorio.

Tabla 5-1 Resumen de costos de inversión para la alternativa seleccionada

Inversión inicial	Costos (millones COP)		
	Fase I	Fase II	Fase III
Obras civiles			
Obra civil - (adecuación del sitio)	91.300	101.000	59.100
Obra civil - (sistema de tratamiento)*	176.000	216.000	181.000
Edificios	32.400	3.600	1.500
Total costos de obras	299.700	320.600	241.600
Instalaciones eléctricas			
Subestaciones e instalaciones eléctricas	48.000	33.300	23.300
Cogeneración	26.700	20.200	-
Total costo de instalaciones eléctricas	74.700	53.500	23.300
Equipos			
Equipos electromecánicos	413.000	296.000	72.800
Instrumentación y control, 5% EE	20.700	14.800	3.640
Total costo de equipos	433.700	310.800	76.500
Total costos de inversión	808.100	684.900	318.100

Tabla 5-2 Costo de inversión incluyendo AIU, diseños e interventoría, alternativa seleccionada

Ítem	Fase I Millones COP	Fase II Millones COP	Fase III Millones COP
Costo directo por fase	808.100	684.900	318.100
Diseño (4,5%)	-	30.820	14.300
Administración, utilidad (25%)	202.000	171.000	79.500
Imprevistos (25%)	202.000	171.000	79.500
Interventoría (5%)	40.400	34.300	15.900
Total	1.252.500	1.092.000	507.300

* Nota: Incluye costo de biofiltros

5.2 Costos de operación y mantenimiento

En la Tabla 5-3 se presenta un resumen de los costos de operación y mantenimiento por fase de tratamiento. Estos costos incluyen el componente de costos fijos y el de costos variables.

Tabla 5-3 Resumen de costos de operación y mantenimiento por fase de tratamiento para la alternativa seleccionada

Operación y mantenimiento	Fase I millones COP/Año	Fase I + II millones COP/Año	Fase I + II + III millones COP/Año
Costos fijos			
Personal	6.980	12.300	12.200
Mantenimiento obra civil, 0,5% OC	1.440	2.900	4.000
Mantenimiento instalaciones eléctricas, 2% CIE	1.500	2.570	3.040
Mantenimiento equipo electromecánico, 5% EE	20.650	35.450	39.090
Mantenimiento instrumentación y control, 7% I&C	1.020	1.910	2.170
Total costo fijos	31.590	55.130	60.500
Costos variables			
Energía	12.600	60.600	85.900
Insumos químicos	40.400	43.800	54.000
Disposición de sólidos	6.885	8.750	9.680
Total costo variables	59.900	113.150	159.580
Total costos de O&M, millones COP/año	91.490	168.280	210.080
Costo unitario de O&M COP/m³	181	334	416

Nota: Los costos de energía incluidos en esta tabla no incluyen los relativos a la EEARC. Los costos de la Fase II incluyen los de la Fase I, y los de la Fase III incluyen los de las Fases I y II. Por el nivel de precisión los valores han sido redondeados.

Sección 6

Conclusiones relevantes del análisis de alternativas

De acuerdo con los resultados de los distintos productos que hacen parte del análisis de alternativas (Productos 1 al 6), se definió el sistema de tratamiento para la PTAR Canoas en sus tres fases, es decir, tratamiento primario, secundario y terciario para remoción de nutrientes. En esta sección se presenta una compilación de las principales conclusiones que arrojó esta primera parte del contrato para el diseño de la PTAR Canoas.

- Es importante resaltar que la localización de la estación elevadora de aguas residuales, EEAR, Canoas se encuentra ligada a la disposición propuesta para la PTAR Canoas por esta consultoría. Por lo tanto el diseñador de la EEAR deberá considerar la ubicación de acuerdo con lo presentado.
- Se confirmó el tratamiento primario químicamente asistido (TPQA) como proceso viable para alcanzar las remociones de DBO₅ y SST exigidas en la Fase I.
- Dada la condición de alcantarillado combinado que se tiene en buena parte del área tributaria a la PTAR Canoas, y con base en la experiencia en otras plantas de tratamiento a nivel nacional, se esperan altas cargas de arena en el afluente a la PTAR Canoas. En consecuencia, CDM Smith – INGESAM ha recomendado que la remoción de arenas se realice en dos etapas: inicialmente en la línea de aguas, en la cabecera de la planta, y posteriormente en la línea de lodos, antes del proceso de espesamiento del lodo primario. La implementación de esta operación de cribado en la línea del lodo crudo, sirve como medida de protección para evitar el ingreso de arena fina a los digestores, lo cual ha sido uno de los problemas operativos más significativos en las tres grandes plantas de tratamiento existentes en el país (Salitre, en Bogotá; San Fernando, en Medellín; y, Cañaveralejo, en Cali).
- Una evaluación específica realizada por CDM Smith – INGESAM para la PTAR Canoas, muestra que los sedimentadores primarios circulares tienen ventajas sobre los rectangulares, particularmente por tener menores costos de inversión, menores costos de reposición de equipos, y menores costos de operación y mantenimiento.
- Aunque en la Fase I se implementará el TPQA con el fin de obtener las remociones de DBO₅ y SST exigidas, los tanques sedimentadores primarios fueron diseñados para la condición sin adición de químicos, como posiblemente operen en la Fase II, cuando se acometa el tratamiento biológico para llegar a 30 mg/L de DBO₅ y SST en el efluente de la planta.
- El proceso de lodos activados en la modalidad de alimentación escalonada o por etapas, resultó ser la solución óptima para la Fase II, dado que desde el punto de vista técnico y económico es la mejor opción para extender el tratamiento biológico secundario a remoción de nutrientes, en la Fase III.
- La información disponible hasta la fecha sugiere concentraciones de nitrógeno total bastante altas, comparadas con las típicas de aguas residuales domésticas. Por esta razón, mientras operan las Fases I y II de la planta, se debe realizar un intenso monitoreo del afluente a la PTAR, con el fin de tener un conocimiento exacto de las características del agua residual a tratar y,

particularmente, de datos estadísticos sobre las concentraciones reales de nitrógeno y sus variaciones.

- Los procesos seleccionados para remoción de nitrógeno y fósforo, están asociados directamente con la concentración en el agua residual cruda y la calidad del efluente, exigida en los términos de referencia. Si una o ambas condiciones cambian, se deberá revisar el diseño conceptual propuesto por CDM Smith – INGESAM, en el futuro, cuando se aborde la ingeniería de detalle de la Fase III.
- La digestión anaeróbica mesofílica resultó ser la mejor opción para estabilización de los lodos de la PTAR Canoas. De acuerdo con lo solicitado en las CTDI, CDM Smith – INGESAM llevó a cabo una evaluación técnica y económica de la opción de implementar un proceso de hidrólisis de la materia orgánica presente en los lodos, antes de ingresar a los digestores, con miras a aumentar la eficiencia del proceso de digestión. En este sentido, se evaluó la viabilidad del proceso de hidrólisis térmica, encontrando que su implementación tiene ventajas significativas para la PTAR Canoas, entre las cuales se mencionan:
 - Mayor eficiencia energética
 - Menor producción de biosólidos
 - Produce biosólidos clase A, con mayor posibilidad de aprovechamiento
 - Minimiza el impacto ambiental por olores ofensivos de los biosólidos, debido al grado de estabilización que éstos alcanzan
 - Se reducen los costos de O&M, frente a la opción de realizar únicamente digestión anaeróbica convencional mesofílica.
- Se definió que la planta tendrá sistemas de control de olores en todas las operaciones y procesos unitarios donde la producción de olores ofensivos sea significativa. En este sentido, se establecieron cinco sistemas de control, en áreas que incluyen las operaciones de cribado y desarenación, y los procesos de sedimentación primaria, espesamiento de lodos primarios y deshidratación de lodos digeridos.
- Teniendo en cuenta los requerimientos del sistema de digestión por THP, el sistema de cogeneración de la PTAR estará compuesto por motogeneradores y calderas piro-tubulares, dada la alta eficiencia del proceso en comparación con las turbinas de gas. En la Fase I se instalarán tres motogeneradores de 3,02 MW, de los cuales dos estarán en servicio y uno servirá de respaldo; además, una caldera piro-tubular. En la Fase II se agregarán dos máquinas, para un total de cinco motogeneradores, cuatro de los cuales estarán en servicio y uno servirá de respaldo; adicionalmente se instalará una nueva caldera.
- Durante el tratamiento del agua residual en los diferentes procesos se generarán subproductos o residuos tales como: arena, lodos y agua tratada; los cuales serán manejados y dispuestos apropiadamente acorde con la normatividad vigente y con los términos de referencia de este proyecto.

Sección 7 Bibliografía

CDM Smith-INGESAM. Realizar el diseño a nivel de ingeniería de detalle de la planta de tratamiento de aguas residuales de “Canoas” en los componentes asociados al sistema de tratamiento primario con asistencia química. Producto 1: Recopilación y análisis de la información existente. Contrato No. 1-02-25500-0690-2011. Versión 2. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, ESP: Bogotá, 2013.

CDM Smith-INGESAM. Realizar el diseño a nivel de ingeniería de detalle de la planta de tratamiento de aguas residuales de “Canoas” en los componentes asociados al sistema de tratamiento primario con asistencia química. Producto 2. Estudios Preliminares de Campo. Volumen 1 de 4: Informe de levantamiento topográfico detallado del sitio de la PTAR Canoas. Contrato No. 1-02-25500-0690-2011. Versión 1. Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, ESP: Bogotá, 2013.

CDM Smith-INGESAM. Realizar el diseño a nivel de ingeniería de detalle de la planta de tratamiento de aguas residuales de “Canoas” en los componentes asociados al sistema de tratamiento primario con asistencia química. Producto 2. Estudios Preliminares de Campo. Volumen 2 de 4: Informe de evaluación geotécnica preliminar. Contrato No. 1-02-25500-0690-2011. Versión 2. Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, ESP: Bogotá, 2014.

CDM Smith-INGESAM. Realizar el diseño a nivel de ingeniería de detalle de la planta de tratamiento de aguas residuales de “Canoas” en los componentes asociados al sistema de tratamiento primario con asistencia química. Producto 2. Estudios Preliminares de Campo. Volumen 3 de 4: Estudio de Propagación-Comunicación. Contrato No. 1-02-25500-0690-2011. Versión 2. Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, ESP: Bogotá, 2014.

CDM Smith-INGESAM. Realizar el diseño a nivel de ingeniería de detalle de la planta de tratamiento de aguas residuales de “Canoas” en los componentes asociados al sistema de tratamiento primario con asistencia química. Producto 2. Estudios Preliminares de Campo. Volumen 4 de 4: Medición de resistividad de tierra y estudios preliminares para la línea de alimentación eléctrica. Contrato No. 1-02-25500-0690-2011. Versión 2. Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, ESP: Bogotá, 2014.

CDM Smith-INGESAM. Realizar el diseño a nivel de ingeniería de detalle de la planta de tratamiento de aguas residuales de “Canoas” en los componentes asociados al sistema de tratamiento primario con asistencia química. Producto 3: Diseño Conceptual. Contrato No. 1-02-25500-0690-2011. Versión 2. Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, ESP: Bogotá, 2014.

CDM Smith-INGESAM. Realizar el diseño a nivel de ingeniería de detalle de la planta de tratamiento de aguas residuales de “Canoas” en los componentes asociados al sistema de tratamiento primario con asistencia química. Producto 4: Costos de inversión, de operación y mantenimiento de alternativa. Contrato No. 1-02-25500-0690-2011. Versión 2. Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, ESP: Bogotá, 2014.

CDM Smith-INGESAM. Realizar el diseño a nivel de ingeniería de detalle de la planta de tratamiento de aguas residuales de “Canoas” en los componentes asociados al sistema de tratamiento primario con asistencia química. Producto 5: Dimensionamiento de alternativas. Contrato No. 1-02-25500-0690-2011. Versión 2. Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, ESP: Bogotá, 2014.